

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГРЕБІНЬ ОЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ

УДК 621.376

ДИСЕРТАЦІЯ

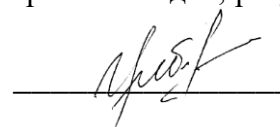
**ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ
РЕСТАВРАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ФОНОГРАМ**

Спеціальність 05.09.08 – прикладна акустика та звукотехніка
(шифр і назва спеціальності)

14 Електрична інженерія
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 О.П. Гребінь

Науковий керівник (консультант) Швайченко Володимир Борисович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Гребінь О.П. Засоби підвищення ефективності процесу реставрації та відновлення фонограм. – Кваліфікована наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.08 - прикладна акустика та звукотехніка. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності реставрації та відновлення аналогових фонограм, записаних на магнітному, механічному та фотографічному носіях.

Суть роботи полягає в удосконаленні процедури відновлення аналогових фонограм на підставі аналізу стану носія та інформації, записаної на ньому, експериментальному дослідженні якісних показників фонограм, дослідженні та удосконаленні електроакустичного методу реставрації фонограм, розробці концептуальної моделі процесу реставрації фонограм, експериментальному дослідженні методів контролю якісних показників фонограм з застосуванням вбудованих вимірювальних засобів звукових програм, контролю якості фонограм архівних матеріалів для цілей реставрації та відновлення звукових фонограм для подальшого їх застосування в різних мультимедійних додатках, і пропозиції способів підвищення ефективності процесу реставрації і відновлення фонограм.

Для дослідження та розробки засобів підвищення ефективності процесу реставрації та відновлення фонограм (РтаВФ) для подальшого зберігання та відтворення в різних сферах застосування в роботі виконано аналіз особливостей аналогових фонограм, записаних на магнітних, механічних й фотографічних носіях, визначені артефакти аналогових фонограм, що виявляються в процесі зберігання, багаторазового відтворення і внаслідок специфічних особливостей носіїв. Як магнітний носій аналогових фонограм в роботі зроблено аналіз носіїв на магнітній плівці в бобіні або касеті, як механічний носій проаналізовано особливості грамплатівки і як фотографічний носій - фотографічну плівку, що використовують в кінематографі.

Враховуючи, що існує велика кількість корисної інформації, що записана на аналогових носіях, а також, що всі аналогові носії звукової інформації в процесі зберігання та/або багаторазового відтворення втрачають свої первинні властивості як фізико-механічні, так і електроакустичні і, відповідно, якісні показники інформаційної складової фонограми існує постійна необхідність оновлення інформації з поліпшенням якості, що визначає достатню актуальність реставрації та відновлення фонограм.

Разом з цим сучасні технології звуковідтворення вимагають застосування цифрових технологій запису і зберігання інформаційної складової фонограм, тому виникає необхідність перенесення аналогових фонограм на цифрові носії з реставрацією і відновленням інформаційної складової фонограм.

Ефективність перенесення аналогових фонограм на цифрові носії і реставрація фонограм багато в чому залежить від початкової якості фонограми, від апаратури відтворення фонограм, від параметрів аналого-цифрового перетворювача, від уміння звукорежисера-реставратора і інших чинників.

Особливу увагу приділено особливостям створення аналогових фонограм на відповідному носії та аналізу артефактів фонограм з їх можливим впливом на якість інформаційної складової фонограми. На підставі аналізу аналогових фонограм на різних носіях, що потребують реставрації та відновлення в роботі запропоновано удосконалену класифікацію звукових фонограм у цілому та відносно до інформаційної складової фонограми.

За результатами аналізу артефактів фонограм удосконалено класифікацію артефактів аналогових фонограм. З урахуванням можливого впливу артефакту на якість інформації на фонограмі визначені критерії оцінювання якості фонограм у цілому та після проведення реставрації і відновлення.

Для оцінювання якісних показників фонограми в роботі наведено відомі методи оцінювання якості. Серед методів зазначено суб'єктивні методи та об'єктивні. Суб'єктивні методи передбачають прослуховування звукових програм до, в процесі та після реставраційних і відновлювальних робіт із застосуванням високоякісних гучномовців або головних телефонів. Об'єктивні методи

передбачають застосування вимірювальних засобів як зовнішніх, так і вбудованих у програмне забезпечення (ПЗ) для роботи із звуком і використовують різноманітні моделі контролю якості фонограм.

На підставі аналізу критеріїв якості звукових фонограм уцілому визначені додаткові критерії оцінювання якості звукових фонограм з урахуванням реставраційних та відновлювальних робіт. Для оцінювання якості фонограм доцільно застосувати такі методи оцінки - метод суб'єктивної оцінки якості звучання фонограм, метод об'єктивної оцінки якості звучання, метод об'єктивної оцінки параметрів сигналу фонограм. Запропонована нова модель об'єктивного оцінювання якості фонограм для використання в реставраційних роботах з аналоговими фонограмами на різних носіях, заснована на неінтрузивній моделі з параметричним моделюванням сигналу фонограми для оцінювання впливу артефакту на фонограму, дозволяє істотно скоротити часові і технічні ресурси, необхідні для проведення РтаВФ.

В роботі запропонована модель артефактного оцінювання якості аудіо (АОЯА) або оцінювання якості аудіо за наявністю артефактів, де передбачено першочерговий аналіз і визначення артефактів в звуковому сигналі, їх вплив на інформаційну складову фонограми, а потім безпосередньо визначення якості інформації, що записана на носій.

Процес РтаВФ в роботі представлений концептуальною моделлю, адже сам процес РтаВФ вимагає концептуального підходу. Вперше запропонована концептуальна модель процесу РтаВФ, що є основою методології концептуального моделювання процесу РтаВФ після впливу артефактів, спричинених різними факторами і підставою визначення методів і засобів для подальшої автоматизації процесу реставрації. Для цього в роботі технологічний процес РтаВФ представлено у вигляді концептів, що описують, в першу чергу, основні артефакти фонограм, особливості їх появи і вплив на якість фонограми, взаємозв'язок артефактів фонограми між собою і результатами РтаВФ, інструменти проведення РтаВФ з використанням відповідних апаратно-програмних засобів. Структура концептуальної моделі РтаВФ забезпечує

можливість поетапного вилучення артефактів незалежно від типу концептів, що визначають артефакти, зумовлені технологією звукозапису. У разі відсутності окремого артефакту або незначного впливу його на якість фонограми і на процес РтаВФ у цілому в КМ можуть бути видалені деякі зв'язки між концептами, що спрощує модель і як результат, зменшує час виконання реставраційних робіт й підвищує ефективність процесу РтаВФ.

Виконання реставраційних та відновлювальних робіт з аналоговими фонограмами передбачає відповідних умов, зокрема, акустичних та необхідного обладнання, включаючи апаратні та програмні засоби. В роботі для виконання операцій реставрації та відновлення аналогових фонограм автором пропонується метод акустичного відтворення аналогових фонограм з подальшим записом фонограми на цифрову робочу станцію, тобто, в реставраційних роботах застосовується електроакустичний тракт формування фонограми. Для проведення реставраційних робіт із застосуванням наведеного електроакустичного методу виконано моделювання розрахунків електроакустичних процесів та формування вимог до технічних характеристик сучасних засобів відтворення фонограм - гучномовців та мікрофонів.

Удосконалено електроакустичний метод виконання реставраційних робіт з розрахунками акустичних умов приміщення – спеціалізованої акустичної камери для виконання реставраційних робіт і для суб'єктивного контролю якості фонограм, а також електроакустичних параметрів застосовуваних мікрофонів та гучномовців, що забезпечує підвищення якості відновленої фонограми. Завдяки використанню спеціалізованої акустичної камери і відповідної технології проведення РтаВФ з суб'єктивним контролем фонограм забезпечено створення зручних і сприятливих умов для проведення реставраційних робіт, спрощення процедури вибору необхідного обладнання, що, в свою чергу, покращує якісні показники відреставрованої фонограми і створює передумови підвищення ефективності реставраційних робіт з фонограмами.

Практична реалізація окремих операцій процесу РтаВФ, зокрема, вимірювання об'єктивних параметрів якості фонограм, в роботі реалізована

експериментальними дослідженнями, починаючи з перенесення аналогових фонограм на цифрові носії і у комп'ютерне середовище й дослідження окремих параметрів. Проведені в роботі дослідження засновані на теоретичному і практичному аналізі аналогових фонограм, можливостей їх реставрації та відновлення, а також перенесення на сучасні цифрові носії; статистичній обробці результатів дослідження параметрів відреставрованих фонограм, дослідженні методів обробки звукових сигналів в процесі реставрації і відновлення.

Для проведення досліджень параметрів фонограм за запропонованими методиками вирішення практичних завдань використані програмні продукти Sound Forge, Adobe Audition. Експериментально проведені дослідження технічних параметрів фонограм на різних носіях таких як, рівні сигналу, рівні артефактів, частотні діапазони інформаційних сигналів та шумів, гістограми вірогідності появи сигналів з відповідними рівнями, із застосуванням програмних вимірювальних засобів, що вбудовані в ПЗ Sound Forge та Adobe Audition та визначено критерій відношення артефакт/сигнал ($K_{C/A}$), що забезпечує спрощення налаштування програмних засобів для реставрації та покращити якість фонограми після реставрації і, відповідно ефективність реставрації. Так, збільшення різниці між рівнем корисного сигналу і рівнем артефакту фонограми, наприклад, стосовно шуму, що визначає $K_{C/A}$ за рівнем з 33 дБ до 40 дБ дає покращення на 7 дБ, а зменшення нерівномірності амплітудно-частотної характеристики, що визначає $K_{C/A}$ за частотою, наприклад, з 15 дБ до 10 дБ дає покращення на 5 дБ.

Практичне значення отриманих результатів полягає спрощенні вибору технічного обладнання для відтворення фонограм та засобів оброблення сигналу внаслідок запропонованої методики першочергового визначення артефактів носія перед реставрацією за наведеними в роботі класифікаційними ознаками артефактів, що прискорює сам процес виконання реставраційних робіт, а також забезпечує умови передбачення остаточних якісних показників реставрованої фонограми.

Проведений аналіз і удосконалена класифікація артефактів фонограм, а також особливостей створення аналогових фонограм створює умови в

подальшому застосування автоматизації нетворчих операції у реставрації та відновлення звукових фонограм, а запропоновані критерії для суб'єктивного оцінювання якості фонограм дозволяють спростити та прискорити процес оперативного оцінювання за рахунок акцентування уваги під час контролю фонограм на критеріях, що стосуються реставраційних робіт.

Виконане концептуальне моделювання процесу відновлення інформації з ушкоджених носіїв забезпечує формування концептів процесу реставрації, критеріїв якості відновлених фонограм і їх залежності від відповідних факторів.

Застосування електроакустичного методу реставрації фонограм та запропонована методика розрахунку електроакустичних параметрів мікрофонів та гучномовців забезпечує покращення суб'єктивного контролю якості фонограм і спрощує вибір електроакустичного обладнання й умов виконання реставраційних робіт, що підвищує ефективність реставраційних робіт.

Запропонована методика попереднього експериментального дослідження параметрів фонограм та артефактів фонограм за допомогою вимірювальних засобів звукових програм, а також визначення критерія відношення артефакт/сигнал за різними ознаками спрощує проведення реставраційних робіт, зменшує час вибору налаштувань програмних модулів і підвищує їх ефективність.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес при підготовці спеціалістів за спеціалізаціями «Електронні засоби Інтернету речей та систем відеоспостереження», «Акустичні мультимедійні системи і технології обробки музично-мовної інформації», що підтверджено відповідним актом.

Ключові слова

Ключові слова: аналоговий, артефакт, відновлення, електроакустичний, звук, критерій якості, магнітний, механічний, цифровий, носій запису, реставрація, фонограма, фотографічний.

SUMMARY

Grebin O.P. Means to increase the efficiency of the process of restoration and recovery of phonograms. - Manuscript.

The dissertation for a Candidate degree in Technical Science, Specialty 05.09.08 Applied Acoustics and Audio Engineering. - National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation work is devoted to increasing the efficiency of restoration and recovery of analog phonograms recorded on magnetic, mechanical and photographic media.

The essence of the work is to improve the procedure for restoring analog phonograms based on analysis of the media and information recorded on it, experimental study of phonograms, research and improvement of electroacoustic method of phonogram restoration, development of a conceptual model of phonogram restoration process, experimental study of quality control methods, application of built-in measuring means of sound programs, quality control of phonograms of archival materials for the purposes of restoration and recovery of sound phonograms for their further application in various multimedia applications, and offers of ways of increase the efficiency of process of restoration and recovery of phonograms.

To study and develop tools to increase the efficiency of the process of restoration and recovery of phonograms (R&R Ph) for further storage and reproduction in various fields of application, the analysis of analog phonograms recorded on magnetic, mechanical and photographic media, identified artifacts of analog phonograms detected in the process storage, multiple playback and due to the specific features of the media. As a magnetic media of analog phonograms in the work the analysis of media on magnetic tape in a reel or a cassette, as a mechanical media features of a gramophone record and as a photographic media - a photographic film used in cinema.

Given that there is a large amount of useful information recorded on analog media, as well as that all analog audio media in the process of storage and / or multiple playback lose their primary properties as physical-mechanical and electroacoustic and,

accordingly, quality indicators information component of the phonogram there is a constant need to update information with improving quality, which determines the sufficient relevance of the restoration and recovery of phonograms.

At the same time, modern sound reproduction technologies require the use of digital technologies for recording and storing the information component of phonograms, so there is a need to transfer analog phonograms to digital media with the restoration and recovery of the information component of phonograms.

The efficiency of transferring analog phonograms to digital media and restoration of phonograms largely depends on the initial quality of the phonogram, the equipment of phonogram reproduction, the parameters of the analog-to-digital converter, the ability of the sound engineer-restorer and other factors.

Particular attention is paid to the peculiarities of creating analog phonograms on a suitable medium and analysis of phonogram artifacts with their possible impact on the quality of the information component of the phonogram. Based on the analysis of analog phonograms on various media in need of restoration and recovery, an improved classification of sound phonograms in general and in relation to the information component of the phonogram is proposed.

According to the results of the analysis of phonogram artifacts, the classification of analog phonogram artifacts has been improved. Taking into account the possible influence of the artifact on the quality of information on the phonogram, the criteria for assessing the quality of phonograms in general and after restoration and recovery are determined.

To evaluate the quality of the phonogram, the paper presents known methods of quality assessment. Methods include subjective and objective methods. Subjective methods involve listening to audio programs before, during, and after restoration and recovery work using high-quality speakers or headphones. Objective methods involve the use of measuring instruments, both external and embedded in software for working with sound and use a variety of models of quality control of phonograms.

Based on the analysis of the criteria for the quality of sound phonograms in general, additional criteria for assessing the quality of sound phonograms, taking into account

restoration and recovery work, have been identified. To assess the quality of phonograms, it is advisable to use the following assessment methods - the method of subjective assessment of sound quality of phonograms, the method of objective assessment of sound quality, the method of objective assessment of the parameters of the phonogram signal. A new model of objective quality assessment of phonograms for use in restoration works with analog phonograms on different media, based on a non-intrusive model with parametric modeling of the phonogram signal to assess the impact of the artifact on the phonogram, significantly reduces the time and technical resources required for R&R Ph.

The paper proposes a model of artifact evaluation audio quality (AEAQ) or audio quality assessment by the presence of artifacts, which provides priority analysis and identification of artifacts in the sound signal, their impact on the information component of the phonogram, and then directly determine the quality of information recorded on media.

The process of R&R Ph in the work is represented by a conceptual model (CM), because the process of R&R Ph requires a conceptual approach. For the first time, a conceptual model of the R&R Ph process was proposed, which is the basis of the methodology of conceptual modeling of the R&R Ph process after the influence of artifacts caused by various factors and the basis for determining methods and tools for further automation of the restoration process. To do this, the technological process of R&R Ph is presented in the form of concepts that describe, first of all, the main artifacts of phonograms, the peculiarity of their appearance and impact on the quality of phonograms, the relationship of phonogram artifacts and the results of R&R Ph, tools R&R Ph using appropriate hardware-software. The structure of the conceptual model of R&R Ph provides the possibility of step-by-step extraction of artifacts, regardless of the type of concepts that define the artifacts due to sound recording technology. In the absence of a single artifact or its negligible impact on phonogram quality and the R&R Ph process as a whole, some links between concepts can be removed in the CM, which simplifies the model and, as a result, reduces restoration time and increases the efficiency of the R&R Ph process.

Execution of restoration and recovery works with analog phonograms provides appropriate conditions, in particular, acoustic and necessary equipment, including hardware and software. In the work to perform operations of restoration and recovery of analog phonograms, the author proposes a method of acoustic reproduction of analog phonograms with subsequent recording of the phonogram on a digital workstation, that is, in restoration works used electroacoustic tract phonogram formation. To carry out restoration work using the above electroacoustic method, modeling of calculations of electroacoustic processes and the formation of requirements for the technical characteristics of modern means of reproduction of phonograms - speakers and microphones.

Improved electroacoustic method of restoration work with calculations of acoustic conditions of the room - a specialized acoustic room for restoration work and for subjective quality control of phonograms, as well as electroacoustic parameters of microphones and speakers, which improves the quality of the restored phonogram. Thanks to the use of a specialized acoustic room and appropriate technology of R&R Ph with subjective control of phonograms, it is possible to create convenient and favorable conditions for restoration work, simplify the procedure for selecting the necessary equipment, which, in turn, improves the quality of restored phonograms.

The practical implementation of individual operations of the R&R Ph process, in particular, the measurement of objective parameters of phonogram quality, is implemented in experimental studies, starting with the transfer of analog phonograms to digital media and in a computer environment and the study of individual parameters. The research is based on theoretical and practical analysis of analog phonograms, the possibility of their restoration and recovery, as well as transfer to modern digital media; statistical processing of results of research of parameters of the restored phonograms, research of methods of processing of sound signals in the course of restoration and recovery.

Sound Forge and Adobe Audition software products were used to study the parameters of phonograms according to the proposed methods of solving practical problems. Experimental studies of technical parameters of phonograms on various

media such as signal levels, artifact levels, frequency ranges of information signals and noise, histograms of the probability of signals with the appropriate levels, using software measuring tools built into Sound Forge and Adobe Audition and defined criterion of the artifact/signal ratio ($C_{S/A}$), which simplifies the setup of software for restoration and improve the quality of the phonogram after restoration and, accordingly, the efficiency of restoration. Thus, increasing the difference between the useful signal level and the phonogram artifact level, for example, with respect to the noise that determines the $C_{S/A}$ level from 33 dB to 40 dB gives an improvement of 7 dB, and reducing the non-uniformity of the amplitude-frequency characteristic that determines the $C_{S/A}$ in frequency, for example, from 15 dB to 10 dB gives an improvement of 5 dB.

The practical significance of the results is to simplify the choice of technical equipment for phonograms and signal processing due to the proposed method of priority determination of media artifacts before restoration according to the classification features of artifacts, which accelerates the process of restoration work, and provides conditions for predicting the final quality of phonograms.

The analysis and improved classification of phonogram artifacts, as well as features of analog phonograms create conditions for further use of automation of non-creative operations in the restoration and recovery of sound phonograms, and the proposed criteria for subjective assessment of phonogram quality simplify and accelerate the process of operational evaluation, during the control of phonograms on the criteria relating to restoration works.

The performed conceptual modeling of the process of information recovery from damaged media provides the formation of concepts of the restoration process, the quality criteria of the restored phonograms and their dependence on the relevant factors.

The application of the electroacoustic method of phonogram restoration and the proposed method of calculating the electroacoustic parameters of microphones and speakers improves the subjective quality control of phonograms and simplifies the choice of electroacoustic equipment and conditions of restoration work, which increases the efficiency of restoration work.

The proposed method of preliminary experimental study of the parameters of

phonograms and phonogram artifacts using measuring instruments of sound programs, as well as determining the criterion of artifact/signal ratio on various grounds simplifies restoration work, reduces the time to select software module settings and increases their efficiency.

The results of the dissertation are introduced into the educational process in the training of specialists in the specializations "Electronic means of the Internet of Things and video surveillance systems", "Acoustic multimedia systems and technologies for processing music and speech information", which is confirmed by the relevant act.

Keywords

Key words: analog, artifact, digital, electroacoustic, magnetic, mechanical, phonogram, photographic, quality criterion, recording, recording medium, recovery, restoration, sound.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Гребінь О.П. Особенности восстановления аудиофрагментов носителей механической записи / Гребінь О.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б., Шарагда О. // Журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку», № 4(32), 2014. – С.: 62-67. *(Здобувачем проведено дослідження артефактів носія механічного запису та їх вплив на якість фонограм).*

2. Гребінь О.П. Особенности реставрации и восстановления аудиосигналов, обусловленные спецификой носителя магнитной записи / Гребінь О.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б., Пробитый Д. М. // Журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку», № 2 (36), 2015. – С. 38-43. *(Здобувачем проведено дослідження артефактів носія магнітного запису та їх вплив на якість фонограм).*

3. Гребінь О.П. Модель процесу відновлення інформації з ушкоджених носіїв / Гребінь О.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Збірник наукових праць. Серія: Мехатроні

системи. Енергоефективність та ресурсозбереження. – К: КНУТД №2 (120), 2018.- С.26-37.*(Здобувачем визначені основні концепти РтаВФ та розроблено концептуальну модель процесу РтаВФ).*

4. Grebin, A., Levenets, N., Shvaichenko, V. Methods of quality control of phonograms during restoration and recovery. Journal “ScienceRise”, Tallin, Estonia, №1, 2021. – Р. 22-32. *(Здобувачем проаналізовані існуючі методи контролю якості фонограм та розроблено модель контролю якості фонограм).*

5. Гребінь О. П., Прядко О. М. Еволюція технологій створення фонограм в кінематографі: від Т. А. Едісона до О. Ф. Шоріна. Аудіовізуальне мистецтво і виробництво: досвід, проблеми та перспективи: Колективна монографія. Київ : Видав. центр КНУКіМ, Т. 9. 2021. – С. : 61-96. *(Здобувачем визначені основні етапи створення фонограм в кінематографі та визначені якісні показники фонограм).*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Застосування мультимедійних технологій у реставрації та відновленні звукових фонограм. / Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. – К. : НАУ, 2014. Дата проведення: 12-13.11.2014 р. *(Здобувачем зазначені особливості застосування мультимедійних технологій у реставраційних роботах з аналоговими фонограмами).*

7. Мультимедійні технології та програмні засоби для реставрації та відновлення звукових фонограм. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. – К. : НАУ, 2015. Дата проведення: 11.11.2015 р. *(Здобувачем проведено експериментальне дослідження виконання РтаВФ із застосуванням відповідних програмних засобів).*

8. Критерії якості звукових фонограм після реставрації та відновлення для застосування у мультимедійних додатках. / О.П. Гребінь, Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. - К.: НАУ, 2017. Дата проведення: 16.11.2017.

(Здобувачем запропоновані критерії якості звукових фонограм в процесі виконання та після реставрації та відновлення фонограм).

9. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Технічні параметри та умови, що визначають якість звуковідтворення. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Мистецтвознавство. Соціальні комунікації. Медіапедагогіка», м. Київ / Упоряд. О. В. Безручко, С. В. Желєзняк. Київ : Видав. центр КНУКіМ, 2019. Ч. I. – С. 127-132. Дата проведення: 21.10.2019. *(Здобувачем проаналізовані технічні параметри, що визначають якість звуковідтворення та удосконалено умови моніторингу параметрів).*

10. Гребінь О.П. «Творчо-технологічні аспекти реставрації та відновлення аналогових фонограм». Міжнародна науково-практична конференція «Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство» .Ч. I. Друк матеріалів конференції. Київ: Вид. центр КНУКіМ, 2020. – С. 139-142. Дата проведення: 26 .03.2020.

11. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Застосування інформаційних технологій для контролю параметрів звукових сигналів при створенні аудіовізуальної продукції // Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі": матеріали конференції. Київський національний ун-т культури і мистецтв (КНУКіМ). – С.236–238. Дата проведення: 18-19.04.2019. *(Здобувачем експериментально досліджено програмні засоби для об'єктивного контролю параметрів звукових сигналів).*

12. A. Prodeus, I. Kotvytskyi, A. Grebin, "Using Kurtosis for Objective Assessment of the Musical Signals Clipping Degree," Proc. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), October 2019, Kyiv, Ukraine. *(Здобувачем практично досліджено вплив кліпування сигналу на якість сприйняття сигналу).*

13. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Сучасні інформаційні технології створення аудіовізуальної продукції // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та праві". Національний університет культури і мистецтв. Київ : Видав.

центр КНУКіМ, 2018. Дата проведення: 19.04.2018. *(Здобувачем проаналізовано можливості побудови автоматизованих робочих місць для створення аудіовізуальної продукції).*

14. Гребінь О.П., Левенець Н. Ф. «Особливості архівування звукових фонограм для застосування у мультимедійних додатках». Науково-практична конференція з міжнародною участю «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». Київ: НАУ, 2020. – С. 24. Дата проведення: 14-15 листопада 2019 р. *(Здобувачем проаналізовано особливості архівування звукових фонограм для передавання звукового контенту в мультимедійних мережах).*

15. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Архівування звукових фонограм після реставрації та відновлення // Тези доповідей науково-практичної конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». Київ, НАУ. Дата проведення: 14-15 11.2018. *(Здобувачем проаналізовано можливості архівування реставрованих звукових фонограм для подальшого зберігання на сучасних носіях).*

16. Гребінь О.П. Візуалізація інформації при викладанні технічних дисциплін за напрямом підготовки «Аудіовізуальне мистецтво та виробництво», спеціальність «Звукорежисура» // Міжнародна науково-практична конференції "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та праві"— С. 270-272. Київ : Видав. центр КНУКіМ, 2018. Дата проведення: 19-20 квітня 2018 р.

17. Гребінь О.П., Прядко О.М. «Звукотехнічні тракти в індивідуальних мультимедійних системах». Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». kmmmt.nau.edu.ua/xi - всеукраїнська-науково-практична он-лайн конференція / м. Київ, НАУ. Дата проведення: 12.11.2020.*(Здобувачем досліджено технічні параметри електроакустичних пристроїв та вплив параметрів на якість звуковідтворення).*

18. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Застосування мультимедійних технологій у виробництві програм телерадіомовлення. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей.-

К.: НАУ, 2016. Дата проведення: 08-10.11.2016. *(Здобувачем проаналізовано методики виробництва програм телерадіомовлення та визначена сучасна й перспективна технологія).*

19. Забезпечення акустичних умов у мультимедійних комплексах. / Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. – К. : НАУ, 2016. Дата проведення: 08-10.11.2016 р. *(Здобувачем визначені оптимальні акустичні умови для створення звукових програм в мультимедійних комплексах).*

20. Применение мультимедийных технологий для измерения времени реверберации помещения. / О.П. Гребінь, Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. - К.: НАУ, 2013. Дата проведення: 20-21.11.2013 *(Здобувачем запропоновано методику та експериментально проведено вимірювання часу реверберації із застосуванням звукових редакторів).*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

21. Бакіко В.М. Визначення впливу імпедансу мережі змінного струму на ефективність фільтрації завад звукотехнічних систем / В.М. Бакіко, О.П. Гребінь, В.Б. Швайченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х : НТУ «ХПІ». — №14 (1290). 2018. – С. 3-6. *(Здобувачем досліджено завади звукотехнічних систем, визначені мережею змінного струму та необхідний рівень фільтрації).*

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	19
Вступ.....	20
1 Класифікаційні ознаки звукових фонограм та критерії оцінювання якості фонограм.....	33
1.1 Необхідність та задачі реставрації та відновлення фонограм.....	33
1.2 Класифікація звукових фонограм.....	41
1.3 Критерії оцінювання якості звукових фонограм після реставрації та відновлення й методи оцінювання.....	44
Висновки за розділом 1.....	65
2 Особливості та параметри аналогових фонограм та артефактів носіїв.....	69
2.1 Особливості механічних фонограм.....	69
2.2 Особливості магнітних фонограм.....	74
2.3 Особливості фотографічних фонограм	79
2.4 Класифікація артефактів звукових фонограм залежно від носія...	85
Висновки за розділом 2.....	88
3 Концептуальна модель процесу реставрації та відновлення фонограм.....	91
3.1 Основні компоненти та систематизація концептуального моделювання процесу реставрації та відновлення фонограм.....	94
3.2 Побудова системної моделі процесу реставрації та відновлення фонограм.....	99
3.3 Побудова мультиагентної системної моделі процесу реставрації та відновлення фонограм.....	102
3.4 Концептуальне моделювання процесу РтаВФ.....	105
Висновки за розділом 3.....	114
4 Організація апаратно-студійного блоку для реставрації аналогових фонограм.....	115

Висновки за розділом 4.....	120
5 Експериментальне дослідження параметрів фонограм різних носіїв за допомогою вимірювальних плагінів, встановлених у програмні засоби.....	122
5.1 Скріншоти сигналів у Sound Forge.....	125
5.2 Скріншоти сигналів у Adobe Audition.....	133
Висновки за розділом 5.....	144
Висновки.....	146
Список використаних джерел.....	149
Додаток А Список публікацій здобувача	159
Додаток Б Практичні розрахунки АСБ РтаВФ.....	164
Б.1 Акустичний розрахунок акустичної камери АСБ реставрації та відновлення фонограм.....	164
Б.2 Розрахунок електроакустичних параметрів гучномовців і мікрофонів АСБ.....	171
Додаток В Акт впровадження.....	177

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- АОЯА – артефактне оцінювання якості аудіо;
АСБ – апаратно-студійний блок;
АЦП – аналого-цифрове перетворення;
ВЧ – верхні частоти;
ВЧП – високочастотне підмагнічування;
ГГМ – головка гучномовця;
ГМ – гучномовець;
ГП – грамплатівка;
ГСП – генератор стирання та підмагнічування;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ЗС – звуковий сигнал;
КД – компакт-диск;
КМ – концептуальна модель;
Л, П – лівий, правий канал;
МП – магнітна плівка;
НЧ – нижні частоти;
ПЗ – програмний засіб, програмне забезпечення;
ПОЯА – перцептуальне оцінювання якості аудіо;
РтаВ – реставрація та відновлення;
РтаВФ – реставрація та відновлення фонограм;
СМ – системна модель;
ТБ – телебачення;
ТРМ – телерадіомовлення;
УДЗ – удаване джерело звуку;
PEAQ – Perceptual Evaluation of Audio Quality (перцептуальна оцінка якості аудіо);
PPM – Peak Program Meter (вимірювач пікових значень);
RMS – Root Mean Square (середньоквадратичне);
VU – Volume Unit (одиниця рівня).

ВСТУП

Обґрунтування теми дослідження. За роки існування звукозапису на матеріальних носіях з можливістю подальшого відтворення інформації, а це вже більше 140 років, людство накопичило дуже велику кількість інформації. Говорячи сучасними термінами, об'єми звукового контенту, що зберігається на різноманітних носіях важко оцінити чисельними термінами.

Звукозапис, як технологія отримання звукової інформації на окремому матеріальному носії з подальшим звуковідтворенням почався з 1877 р., коли американський винахідник Т.А. Едісон розробив пристрій запису звуку на циліндричний носій, який назвав «Фонограф». До появи фонографа були спроби запису звукової інформації на матеріальний носій, але без можливості відтворення з нього. Тому початком звукозапису вважається саме період появи та розквіту фонографа [1].

Звукозапис у фонографі був механічний, тобто звукова інформація записувалась на доріжку за рахунок механічних коливань різця, який залежно від форми звукових коливань видавлював у попередньо створеній канавці поглиблення. Як носій у перших фонографах використовували циліндр, покритий фольгою з олова. З часом робоча поверхня циліндра покривалась сплавом воску з рослинними смолами. Це були перші носії звукозапису. Зрозуміло, що якість запису-відтворення була дуже низькою, носій дуже швидко втрачав інформацію внаслідок механічних пошкоджень звукової доріжки під час відтворення, мав значні механічні шуми й низький рівень звуку.

Пізніше, у 1887 р., німецько-американський винахідник Еміль Берлінер розробив і запатентував свій пристрій механічного запису звукової інформації, який назвав «Грамофон». Основною відмінністю грамофона від фонографа був носій, на який заносилась звукова інформація. У грамофона носій був у вигляді диска, який пізніше назвали грамофонною платівкою, а запис здійснювали різцем, що коливався не вглиб, як у фонографа, а поперечно відносно доріжки. Диск обертався з постійною кількістю обертів за хвилину, а різець рухався радіально

від краю платівки до центра. Якість запису-відтворення була вища за якість запису у фонографі.

Саме з грамофонних платівок і почалась ера масової звукоіндустрії і, зокрема, звукозапису, адже платівки можна було легко тиражувати. Спочатку платівки випускались одиночними тиражами з індивідуальними записами, пізніше десятками, сотнями і, на кінець, мільйонними тиражами. Грамплатівка, як носій звукової інформації була найякіснішим і найнадійнішим масовим носієм з достатньо високими якісними показниками звуковідтворення. Однак, основним недоліком механічного запису було погіршення фонограми в процесі багаторазового відтворення [1].

Масове існування механічного запису і, відповідно, механічних грамплатівок тривало до 70-80-х років XX століття, коли на зміну прийшов магнітний звукозапис.

Початок магнітного запису звукової інформації на носій у вигляді дроту датується 1898 р. і був запропонований винахідником з Данії В. Паульсенем. Пристрій запису на магнітний дріт був названий «Телеграфон». Пізніше, у 30-40-х роках XX століття як носій магнітного запису використовували магнітну плівку, спочатку на паперовій основі, а потім на пластмасовій. Першим апаратом магнітного запису на магнітну плівку був пристрій з назвою «Магнетофон», випущений фірмою AEG у 1935 р. [1].

При магнітному запису магнітна плівка рухалась з постійною лінійною швидкістю повз магнітну головку, в яку подавався змінний струм, який формувався звуковим сигналом. В залежності від параметрів звукового сигналу магнітна головка створювала магнітне поле, що намагнічувало магнітну плівку і на плівці створювалась залишкова намагніченість. При відтворенні та ж плівка рухалась повз магнітну головку і за рахунок залишкової намагніченості в головці виникала електрорушійна сила, пропорційна звуковому сигналу.

Ера масового магнітного звукозапису почалась у 60-70 роках XX століття і піку досягла у 80-х роках масовим розповсюдженням касет з магнітною плівкою. Перевагою магнітного запису була можливість неодноразового запису-

перезапису на носій, що зумовило появі великої кількості магнітних фонограм як професійного, так і побутового призначення. Якість магнітних фонограм дуже різнилась – від високоякісних студійних фонограм, якість яких перевищувала якість механічних фонограм, до поганих побутових фонограм. До речі, магнітний студійний запис застосовували як первинний запис для подальшого виробництва матриць для тиражування грамплатівок. Однак, основним недоліком магнітних фонограм було погіршення якості фонограми в процесі перезапису, зокрема збільшення структурного шуму магнітного шару носія.

Важливим моментом у розвитку звукозапису необхідно зазначити і звукозапис на фотографічну плівку, що широко використовували у кінематографії. Фотографічний, а точніше фотооптичний запис звукового супроводу кінофільмів бере свій початок ще у 1901 р., коли німецький фізик Е.В. Румер створив пристрій запису на фотоплівці з назвою «Фотографофон» [1].

Для фотографічного запису звукових сигналів використовували фотоплівку, на якій звукова доріжка формувалась за рахунок зміни світлового потоку, що потрапляв на фоточутливий шар плівки. Після хіміко-фотографічної обробки на фотоплівці залишалась звукова доріжка у вигляді смужок з різною прозорістю, в залежності від параметрів звукового сигналу. Це була фонограма змінної оптичної густини.

У 20-30-х роках XX століття винахідниками з Данії А. Поульсеном і А. Петерсеном було запатентовано систему оптичного запису звуку на фотографічний носій змінної ширини.

Починаючи з 30-х років XX століття у кінематографії масово використовували фотографічний запис звукового супроводу.

З 70-х років XX століття почалась ера цифрового звукозапису, який став масовим у 90-х роках із появою CD, R-DAT, MD та ін. А на початку XXI століття масовими технологіями звукозапису вже вважаються комп'ютерні технології із застосуванням жорстких носіїв (флеш-накопичувачів) і файлових носіїв.

Отже, звукозапис як технологія створення фонограм на відповідному носії сформувалась за такими напрямками: аналоговий механічний запис звуку на

грамплатівці; аналоговий магнітний запис на магнітній стрічці; аналоговий фотографічний запис на кіноплівці; цифровий запис на магнітному носії, цифровий запис на оптичному носії (компакт-диску), цифровий запис на фотографічному носії, цифровий запис на файловому носії у комп'ютерному середовищі [2].

На носіях звукових фонограм за всі роки існування звукозапису накопичилось величезні об'єми архівних записів, що не можуть бути оцінені матеріально і становлять велику цінність як з історичної точки зору, так і з технологічної та технічної сторін.

Якісні показники звукозапису за різними технологіями суттєво різняться. Більш того, суттєво можуть різнитися і якісні показники звуковідтворення фонограм після тривалого зберігання.

Так, в середньому, можна вважати, що механічні носії з початку масового застосування зберігаються більше 100 років, а з якісним стереофонічним записом – більше 50 років; аналогові магнітні носії масового використання зберігаються – більше 60 років, аналогові фотографічні фонограми – більше 70 років. Що стосується цифрових носіїв, то для оптичних носіїв (компакт-дисків) на сьогоднішній день період зберігання може складати майже 40 років, для цифрових магнітних фонограм, наприклад, R-DAT формату – більше 30 років, файлових фонограм – більше 20 років.

Сучасний погляд на якісні характеристики звукових фонограм вимагає високої якості звуковідтворення, комп'ютерних технологій у створенні фонограм. Більш того, у масовому використанні на даний час майже не використовують аналогові фонограми. Якщо сучасні механічні фонограми, тобто грамплатівки ще існують, то магнітні фонограми, зокрема, на касетах повністю відійшли у минуле. Замість них прийшли компакт-диски, а потім і флеш-накопичувачі.

Але з точки зору історичної цінності фономатеріалів, що зберігаються на аналогових носіях існує необхідність переведення їх у сучасний вид, а саме на цифровий носій і, зокрема, у комп'ютерне середовище [3].

Однак, просто перенести аналогові фонограми у комп'ютерне середовище

для подальшого використання у сучасних технологіях телерадіомовлення, мультимедійних технологіях неможливо, адже всі аналогові фонограми характеризуються наявністю артефактів, викликаних самою технологією звукозапису та носієм звукозапису, а також умовами зберігання фонограм.

Тому для формування сучасного звукового контенту, придатного для використання у різноманітних мультимедійних додатках, телерадіомовленні, індустрії звукозапису тощо необхідна реставрація і відновлення аналогових фонограм. Сучасний слухач хоче прослуховувати фонограми з якістю, що визначена новітніми технологіями звукозапису, незалежно від часу створення фонограми [4].

Необхідно зазначити, що впродовж існування аналогових фонограм проводились роботи по реставрації фонограм, що передбачали, наприклад, перезапис фонограми на більш сучасний аналоговий носій, більш сучасну магнітну плівку, або штампування грамплатівок на вініліті або сумішах з меншою структурою порошку і більш зносостійкого матеріалу. Однак такі способи реставрації не завжди призводили до покращення якості фонограм, а навіть, навпаки, погіршували, зокрема, за рахунок зменшення відношення сигнал/шум.

Застосування цифрових технологій у звукозапису, поява цифрового обладнання для обробки звукового контенту покращило умови реставрації та відновлення аналогових фономатеріалів. Більш того, при розробці цифрових технологій і носіїв звукозапису обов'язково враховують можливості довготривалого зберігання інформації без втрати якості, а також без втрати якості при багаторазовому перезапису фонограм.

На даний час єдиним сучасним способом реставрації аналогових фонограм є застосування комп'ютерних технологій і відповідного програмного забезпечення (ПЗ) [5].

Узагальнено технологія реставрації та відновлення фонограм (РтаВФ) передбачає попередню підготовку вихідного матеріалу – аналогової фонограми, потім перенесення інформації у комп'ютерне середовище, за тим необхідну обробку інформації з використанням відповідного програмного забезпечення, і,

на кінець, реєстрацію відновленої інформації на сучасний носій або в архів.

Необхідно зазначити, що сам процес реставрації і відновлення фонограм - це достатньо тривалий процес і вимагає як сучасного технічного забезпечення, так і досвіду звукорежисера-реставратора.

Актуальність роботи визначають такі аспекти:

- наявність великої кількості, великих об'ємів звукової інформації на аналогових носіях, які швидкими темпами виходять з масового використання, вимагає якнайшвидшого перенесення її у сучасне комп'ютерне середовище, сучасні носії і архіви;
- аналогові фонограми мають специфічні артефакти, що погіршують якість сприйняття інформації, призводять до втрати інформаційної та змістовної складових інформації, тому необхідна реставрація та відновлення фонограм з покращенням якісних показників, що можуть забезпечити сучасні цифрові технології;
- специфічні артефакти фонограм вимагають відповідного підходу для їх визначення, класифікації та видалення залежно від типу носія фонограми, а також можливості автоматизації процесу;
- тривале зберігання аналогових фонограм призводить до втрати своїх первинних властивостей, що погіршує якість інформації, яка записана на них, а це, в свою чергу, визначає необхідність реставрації та покращення якісних показників фонограм;
- в процесі реставрації якість фонограми не завжди можна оцінити за існуючими критеріями, як об'єктивними, так і суб'єктивними, тому існує необхідність визначення нових суб'єктивних критеріїв якості реставрованих фонограм;
- суттєвим недоліком переважної більшості сучасних досліджень, спрямованих на об'єктивізацію оцінювання якості спотворених сигналів, є переважний інтерес до "інтрузивних" показників, тоді як задачі реставрації фонограм вимагають використання або "неінтрузивних", або так званих "параметричних" показників;

Сучасні технології реставрації та відновлення фонограм передбачають застосування комп'ютерних технологій і відповідного програмного забезпечення. Для реставрації і відновлення існує багато різноманітних програм, що дозволяють відновлювати архівні фонограми і забезпечувати необхідну якість. Однак, всі ці програмні засоби не дають ідеального результату проведення реставрації, адже всі існуючі фонограми відрізняються наявними специфічними артефактами з різними значеннями їх проявів, що значно утрудняє автоматизацію процесу реставрації [5].

Питаннями реставрації і відновлення фонограм з копіюванням інформації на більш якісний сучасний, зокрема, цифровий носій починаючи з 80-х років минулого століття займалися такі науковці: Алдошина І. А., Антонов Л., Белласі Д., Бург А., Васегі В., Верко Б., Волков А.Л., Гарднер В., Гільвер С.Г., Годсілл С., Дінов В.Г., Донохо Д., Девідсон К., Ішуткін Ю.М., Каназза С., Кауппінен І., Ковалевська Н.С., Койфман Р., Кудінов А.А, Олефіренко П.П., Оркалі А., Павленко А., Продеус А.М., Прядко О.М., Рейнер П., Русинов А.С., Фокін О.О., Фрейлінг-Корк Р., Хайн А., Чижевський А., Жалнін Д., Швайченко В.Б., Ширмер Т. та інші.

Більшість авторів у своїх роботах по реставрації і відновленню фонограм значну увагу приділяли інформації, що записана на носій. Однак, застосування такого підходу до архівних фонограм у якому, в першу чергу, аналізують саме носій фонограми з його типовими артефактами, а потім і інформацію, що записана на носій, може дозволити автоматизувати окремі етапи реставрації і відновлення.

Окремі носії аналогових фонограм мають типові артефакти, зокрема шум магнітної стрічки, «пісочний» шум у грамплатівки та інше. Такі артефакти можуть в автоматичному режим визначатися відповідним програмним забезпеченням, далі в автоматичному режимі можуть застосовуватись окремі засоби обробки сигналу, наприклад, шумознижувачі, формування фонограми у відповідному форматі (з відповідним розширенням), а потім застосовуючи творчі підходи проводиться закінчення процесів реставрації.

Сутність роботи полягає в удосконаленні процедури відновлення аналогових

фонограм на підставі аналізу стану носія і інформації, що записана на ньому, експериментальному дослідженні якісних показників фонограм, дослідженні і удосконаленні електроакустичного методу реставрації фонограм, розробці концептуальної моделі процесу реставрації фонограм, експериментальному дослідженні методів контролю якісних показників фонограм із застосуванням вбудованих вимірювальних засобів звукових програм, контролю якості фонограм архівних матеріалів для цілей реставрації й відновлення звукових фонограм для подальшого їх застосування у різноманітних мультимедійних додатках, та пропонувати засобів підвищення ефективності процесу реставрації і відновлення фонограм.

Мета дисертаційної роботи полягає в дослідженні та розробці засобів підвищення ефективності реставраційних і відновлювальних робіт з аналоговими фонограмами для подальшого застосування в різних сферах.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були поставлені та вирішені такі задачі:

- провести аналіз та удосконалити класифікацію звукових фонограм;
- дослідити критерії оцінювання якості фонограм та удосконалити основні критерії якості фонограм при суб'єктивному й об'єктивному оцінюванні, що можуть бути застосовані в процесі проведення реставраційних і відновлювальних робіт;
- визначити можливості використання інтрузивних і неінтрузивних методів оцінки якості фонограм в процесі реставрації та відновлення й удосконалити інструментальний метод об'єктивного оцінювання якості фонограм, заснований на неінтрузивній моделі з параметричним моделюванням сигналу фонограми для оцінки впливу артефакту на фонограму;
- провести аналіз формування аналогових фонограм, характерних відповідному носію запису, їх якісних показників та удосконалити класифікацію артефактів, що погіршують якість відтворення інформації після тривалого зберігання на відповідних носіях;
- розробити концептуальну модель реставрації та відновлення фонограм з

ушкоджених носіїв;

- дослідити та удосконалити електроакустичний метод виконання реставраційних робіт з аналоговими фонограмами;

- експериментально дослідити об'єктивні параметри фонограм застосовуючи програмні вимірювальні засоби, ввівши критерій якості фонограми – відношення сигнал/артефакт.

Об'єктом дослідження є явище зниження якісних показників аналогового звукового контенту у процесі його тривалого зберігання на різних носіях звукозапису.

Предметом дослідження є сучасні технічні й програмні можливості та засоби відновлення та реставрації звукового контенту.

Методи дослідження.

Проведені дослідження ґрунтуються на теоретичному та практичному аналізі аналогових фонограм, можливостей їх реставрації та відновлення й перенесення на сучасні цифрові носії; проведенні та статистичній обробці результатів дослідження параметрів реставрованих фонограм, дослідженні методів обробки звукових сигналів в процесі реставрації та відновлення.

При розробці засобів підвищення ефективності реставрації та відновлення фонограм й оцінювання їх якості із застосуванням сучасних комп'ютерних засобів застосовувались методи експертних оцінок на основі психоакустики та прикладної метрології.

Для проведення чисельних досліджень за розробленими методиками вирішення практичних задач використано програмні продукти Sound Forge, Adobe Audition, iZotop тощо.

Наукова новизна одержаних результатів:

- доповнено і удосконалено існуючу класифікацію артефактів носіїв звукового контенту, що дало можливість запропонувати новий підхід до реставрації і оцінки якості фонограм;

- удосконалено інструментальний метод об'єктивного оцінювання якості фонограм, заснований на неінтрузивній моделі з параметричним моделюванням

сигналу на підставі введеного критерію якості фонограм – відношення артефакт/сигнал, що підвищує точність визначення впливу артефактів на носій і дозволяє покращити якість реставрованої фонограми;

- вперше запропонована концептуальна модель відновлення інформації з ушкоджених носіїв на основі поетапного вилучення артефактів незалежно від типу множини концептів, які визначають артефакти, що забезпечує підвищення ефективності реставраційних робіт з фонограмами;

- удосконалено електроакустичний метод реставрації та відновлення звукових фонограм з урахуванням суб'єктивного контролю фонограм, що забезпечує створення зручних і сприятливих умов для проведення реставраційних робіт, спрощення процедури вибору необхідного обладнання, покращення якісних показників відреставрованої фонограми;

- в результаті експериментальних досліджень аналогових фонограм доведено, що найбільш помітні артефакти фонограми визначені носієм запису, кількістю відтворень, умовами зберігання, початковими умовами запису.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

- методика першочергового визначення артефактів носія перед реставрацією за наведеними в роботі класифікаційними ознаками артефактів спрощує вибір технічного обладнання для відтворення фонограм та засобів оброблення сигналу, прискорює сам процес виконання реставраційних робіт, а також забезпечує умови передбачення остаточних якісних показників реставрованої фонограми;

- проведений аналіз і удосконалена класифікація артефактів фонограм, а також особливостей створення аналогових фонограм створює умови в подальшому застосування автоматизації нетворчих операції у реставрації та відновлення звукових фонограм;

- запропоновані критерії для суб'єктивного оцінювання якості фонограм дозволяють спростити та прискорити процес оперативного оцінювання за рахунок акцентування уваги під час контролю фонограм на критеріях, що стосуються реставраційних робіт;

- виконане концептуальне моделювання процесу відновлення інформації з

ушкоджених носіїв забезпечує формування концептів процесу реставрації, критеріїв якості відновлених фонограм і їх залежності від відповідних факторів;

- застосування електроакустичного методу реставрації фонограм та запропонована методика розрахунку електроакустичних параметрів мікрофонів та гучномовців забезпечує покращення суб'єктивного контролю якості фонограм і спрощує вибір електроакустичного обладнання й умов виконання реставраційних робіт, що підвищує ефективність реставраційних робіт;

- запропонована методика попереднього експериментального дослідження параметрів фонограм та артефактів фонограм за допомогою вимірювальних засобів звукових програм, а також визначення критерія відношення артефакт/сигнал за різними ознаками спрощує проведення реставраційних робіт, зменшує час вибору налаштувань програмних модулів і підвищує їх ефективність.

Отримані результати можна використовувати в практиці організацій, які займаються реставрацією та відновленням звукового контенту, та у навчальному процесі вищих навчальних закладів України, у т.ч. Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», при підготовці спеціалістів за спеціалізаціями «Електронні засоби Інтернету речей та систем відеоспостереження», «Акустичні мультимедійні системи і технології обробки музично-мовної інформації», а також науково-дослідними та дослідно-конструкторськими підрозділами підприємств, що займаються розробкою програмних засобів для оброблення звукових фонограм.

Створено на базі кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем (АМЕС) навчальне робоче місце реставрації та відновлення фонограм з копіюванням фонограм на сучасні цифрові носії й оцінкою якості відновлених фонограм. (Акт впровадження в навчальний процес додається).

Особистий внесок здобувача.

Автором обґрунтована доцільність аналізу аналогових фонограм та їх перенесення на сучасні носії із застосуванням комп'ютерних технологій. Подані до захисту теоретичні й практичні результати належать здобувачеві особисто, що відображено в самостійній роботі [19] (дод. А). В опублікованих роботах, які

виконані разом із співавторами, особистий внесок здобувача полягає в визначенні та розробці окремих аспектів [1,5,6,8,10,11] (дод. А), проведенні досліджень і інструментальних вимірювань [2,3,4,14,15,17] (дод. А), обробці та аналізу отриманих результатів [7,9,12,13,16,18,20,21] (дод. А).

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень, що увійшли в дисертацію, доповідалися на 6 конференціях:

- науково-практичній конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» (м. Київ, Україна, 2013-2020 р.р.);
- міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та праві" (м. Київ, Україна, 2018 р.);
- міжнародній науково-практичній конференції "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі" (м. Київ, Україна, 2019 р.);
- II міжнародній науково-практичній конференції «Мистецтвознавство. Соціальні комунікації. Медіапедагогіка» (м. Київ, Україна, 2019 р.);
- IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T) (Kyiv, Ukraine, 2019);

міжнародній науково-практичній конференції «Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство» (м. Київ, Україна, 2020 р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 21 наукова праця, у тому числі 1 монографія, 5 статей у наукових фахових виданнях (з них 1 стаття у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР), 15 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 100 найменувань та 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 177 сторінок, у тому числі 131 сторінка основного тексту, 23 рисунків, 19 таблиць.

У **вступі** обґрунтована актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено новизну отриманих результатів та їх практичне значення.

У першому розділі визначені основні класифікаційні ознаки звукових фонограм, зазначена необхідність та задачі реставрації та відновлення фонограм, удосконалена класифікація звукових фонограм та визначені основні критерії оцінювання якості звукових фонограм після реставрації та відновлення.

У другому розділі роботи визначено особливості та параметри аналогових фонограм, зокрема механічного, магнітного та фотографічного запису.

На основі аналізу літературних джерел доповнена та удосконалена класифікація артефактів фонограм, що записані у аналоговому вигляді на відповідних носіях та визначені якісні характеристики, що спотворюються носієм.

В третьому розділі розроблена концептуальна модель процесу реставрації та відновлення фонограми відповідної якості на відповідному носії.

У четвертому розділі запропоновано нову організацію апаратно-студійного блоку для реставрації та відновлення аналогових фонограм внаслідок удосконалення методу акустичного відтворення аналогових фонограм з подальшим записом фонограми на цифрову робочу станцію.

У п'ятому розділі наведено результати експериментального дослідження параметрів аналогових фонограм на різних носіях за допомогою вимірювальних модулів, встановлених у програмні засоби.

У висновках надані матеріали, що характеризують наукову новизну, практичну цінність, реалізацію та впровадження результатів роботи.

1 КЛАСИФІКАЦІЙНІ ОЗНАКИ ЗВУКОВИХ ФОНОГРАМ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФОНОГРАМ

1.1 Необхідність та задачі реставрації та відновлення фонограм

Наявність великих об'ємів інформації, що записана на аналогових носіях та стрімкий розвиток цифрових технологій призвело до необхідності і можливості переведення аналогових фонограм у цифровий вигляд на сучасні цифрові носії. Більш того, перетворення аналогових фонограм у цифрові фонограми дозволило набагато зменшити об'єми інформації, точніше зменшити площі зберігання інформації. Застосування стиснення інформації без втрат, а також стиснення з втратами в залежності від призначення фонограми і послужило приводом до можливості зменшення об'ємів [6].

Аналогові фонограми, що зберігаються тривалий час, з часом старіють та втрачають свої первинні властивості як фізико-механічні, так і електроакустичні. Це пов'язано, в першу чергу, з фізичними змінами структури носія внаслідок зовнішнього впливу та хімічних процесів у матеріалі носія. Так платівки можуть деформуватись, запилюватись, в них можуть з'являтися мікротріщини, при відтворенні механічно пошкоджується звукова доріжка, з'являються специфічні спотворення, особливо на високих частотах тощо. Магнітні плівки з часом теж деформуються, висихають, осипається магнітний шар, при зберіганні частково розмагнічуються, виявляється копірефект тощо. Фотографічні фонограми пересихають, стають крихкими, втрачають свої первинні світлотехнічні параметри тощо [5].

В процесі багаторазового відтворення аналогових фонограм відбувається пошкодження носія і, відповідно, часткова втрата інформації. А з часом часткова втрата інформації може призвести до втрати змістовної і емоційної складової інформації, зменшується розбірливість мови, маскуються динаміка подання інформації.

Разом з тим, недосконалі технології звукозапису на початкових етапах

розвитку звукозапису, які, в основному, мали вузький частотний діапазон, невеликий динамічний діапазон, наявність шумів тощо вимагають нових сучасних підходів до обробки фонограм і, зокрема, реставрації фонограм для їх використання у сучасних мультимедійних додатках.

Може настати момент, коли відновити інформацію буде неможливо, що вимагає термінового перенесення інформації на інший носій, яким на даний час є цифровий носій. Саме механічні пошкодження носіїв аналогових фонограм в першу чергу вимагають переведення аналогових фонограм у цифровий вигляд.

Широке розповсюдження цифрових технологій звукозапису, оброблення звуку, поява спеціалізованих цифрових студій, звукових робочих станцій із застосуванням персональних комп'ютерів, поява спеціалізованих програмних засобів тощо створили умови і можливості перенесення аналогових фонограм з будь-якого носія на сучасні цифрові носії з якістю, що відповідає сучасним вимогам до фонограм. При цьому з'явилась можливість виконувати реставраційні та відновлювальні роботи з інформацією та самим носієм фонограм [7].

Цифрові технології значно розширили функціональні можливості реставраційних та відновлювальних робіт з фонограмами, зменшили часові терміни обробки фонограм, створили можливості покращувати якість інформації фонограм тощо. Цифрові технології гарантують більш тривале зберігання фонограм, а при перезапису не погіршують якість записаної інформації.

Більш того, сучасні умови та засоби відтворення фонограм повністю відійшли від аналогових засобів. Студії звукозапису повністю переходять на цифрові технології, індустрія звуковідтворення та розповсюдження звукового контенту також переходять на цифрові засоби. Архіви та технології зберігання звукового контенту переходять на цифрові засоби [23,24].

Реставрація та відновлення аналогових фонограм достатньо кропіткий, складний і тривалий процес, до того ж вимагає достатніх матеріальних вкладень та технічного забезпечення. Разом з тим, це творчий процес і залежить від досвіду та уміння звукорежисера-реставратора, якість реставрованих фонограм визначають в більшості суб'єктивними методами і, головне, не піддається повній

автоматизації [8].

Однак, матеріальні витрати на реставрацію та відновлення фонограм в подальшому повністю окупляться за рахунок масового розповсюдження архівних фономатеріалів у новому вигляді.

Реставрація та відновлення архівних фонограм іноді є досить невдячною роботою. Адже кінцевий результат реставрації може бути оцінений по-різному споживачами, не всі споживачі почують те, що хотіли б почути, особливо це стосується тих слухачів, які чули в оригіналі відновлювану фонограму. Разом з тим, з появою цифрових технологій значно змінився менталітет споживачів фонограм з точки зору якості звучання, виникає необхідність покращувати якість фонограми на рівень з сучасними цифровими фонограмами [22,25].

Таким чином, можна зазначити такі причини необхідності реставрації та відновлення аналогових фонограм:

- механічні пошкодження носіїв аналогових фонограм;
- погіршення якісних показників фонограм в процесі тривалого зберігання;
- недосконалі технології створення аналогових фонограм на початкових етапах звукозапису;
- проблеми перенесення аналогових фонограм у цифровий вид з покращенням якісних показників;
- забезпечення тривалого зберігання без втрати якості;
- виявлення типових артефактів носіїв фонограм;
- зміна вимог у слухачів до звучання фонограм.

Серед основних задач, що потрібно забезпечити в процесі реставрації та відновлення аналогових фонограм сучасними засобами зазначимо такі:

- збереження цілісності інформаційної (змістовної) складової фонограм;
- видалення артефактів, визначених носієм аналогової фонограми;
- видалення артефактів фонограм, визначених умовами зберігання фонограм;
- зниження помітності спотворень сигналу;
- покращення якісних показників фонограм для застосування у сучасних мультимедійних додатках, телерадіомовленні тощо;

- покращення якісних показників сприйняття інформації з урахуванням суб'єктивних вимог;
- забезпечення якісних об'єктивних показників для подальшого зберігання на сучасних носіях інформації.

Серед основних технічних показників фонограм, що визначають якість фонограм і, на яких зосереджуються при виконанні реставраційних й відновлювальних робіт над фонограмами зазначимо такі [26]:

- шуми, викликані структурою носіїв, постійні та дискретні;
- спектральний склад фонограм;
- рівень сигналу фонограми;
- просторовість звучання фонограм;
- спотворення як рівневих, так і частотних складових фонограми (нелінійні та лінійні).

Отже, в процесі реставрації та відновлення фонограм проводять роботи з видалення зайвих спектральних складових інформаційного сигналу, що являють собою шум, і викликані, в першу чергу, носієм фонограми; відновлення спектральних складових, що були втрачені за рахунок лінійних спотворень, викликаних умовами запису-відтворення; забезпечення оптимального рівня сигналу фонограми тощо [9].

Під реставрацією (*restauratio* (лат.) - відновлення) розуміють відновлення чого-небудь в первісному (або близькому до первісного) вигляді. Для звукових фонограм реставрація передбачає відновлення інформаційної складової фонограми зі збереженням всіх якісних показників, закладених в процесі запису фонограми [8].

Однак цілі реставрації звукової фонограми можуть бути різними, а це тягне за собою різне розуміння процесу реставрації і відновлення. Хоча слова «реставрація» і «відновлення» - синоніми, кінцеві результати цих процесів можуть істотно відрізнятися, більш того, вважають, що технічна і творча складові цих процесів різні.

В процесі проведення реставрації важливо визначити, що необхідно

отримати - фонограму, позбавлену дефектів, викликаних дефектами носія, або фонограму з поліпшеними якісними параметрами, або фонограму-ремастерінг, в якій крім покращення показників введено нове звучання, змінено забарвлення уцілому. А також важливо відзначити для яких цілей проводиться реставрація - для подальшого тривалого зберігання, для використання в телерадіомовленні (ТРМ), мультимедіа, для створення музичного альбому і ін. (рис. 2).

Деякі автори [4,8,10,11] вважають, що процес реставрації, який визначають дефектами носія, можна назвати відновленням. Результат відновлення визначено умовами зберігання фонограм. Тут важливо відокремити відновлення самого носія для подальшої реставрації фонограми, і відновлення самої інформації з носія.

Доцільно поряд з терміном «реставрація» (розуміючи під ним реставрацію фонограм, тобто носія й одночасно і звукової інформації) використовувати термін «відновлення», розуміючи відновлення втраченої інформації. Дійсно, кінцевою метою реставрації фонограми є не відновлення вихідного стану носія запису, а відновлення інформації (змістовної і емоційної), яку переноситься сигналом, записаним на цей носій. Для відновлення інформації, яку переноситься сигналом не обов'язково відновлення форми сигналу.

В [8] автор вважає, що поняття реставрації звукової фонограми залежно від кінцевої мети передбачає проведення цілого комплексу робіт, які повинні забезпечити тривале зберігання фонограми з мінімальними втратами, як за якістю звучання, так і щодо стану самого носія запису. Таку реставрацію називають відновленням.

З іншого боку, під відновленням розуміють усунення всіляких дефектів фонограми, щоб мати можливість максимально точно відтворити зафіксовану на ній інформацію і при необхідності переписати її на новий носій зі збереженням оригінального звучання [8].

Автор [5] підкреслює, що при відновленні не допускається застосування різних електронних і інших обробок для поліпшення звучання. В даному випадку мається на увазі, що кінцевою метою відновлення є отримання копії фонограми,

максимально ідентичної початковій, тобто з усіма її особливостями, зумовленими технічним рівнем старої апаратури, зі збереженням усіх її творчих аспектів (особливості мови і виконання музичних творів, акустика приміщень, почерку звукоорежисера або диригента тощо). Відновлені фонограми повертають в архів, і таким чином досягають головної мети - збереження їх на багато років.

Завдання дещо змінюється, якщо архівну фонограму потрібно відновити для використання в теле- і радіопрограмах, мультимедійних технологіях, при підготовці музичних альбомів і т.п. Справа в тому, що її технічний стан і творчий зміст найчастіше не відповідають сучасним вимогам і уявленням. Більшість фонограм до кінця 60-х років минулого століття були монофонічними, що малопривабливо для сучасного слухача [5]. Адже сучасні вимоги до звукових фонограм - стереофонічне, багатоканальне звучання з високими технічними показниками.

У цьому випадку необхідна реставрація, завданням максимум якої є донести до слухача виконавчу майстерність артистів попередніх поколінь, передати дух епохи з урахуванням сучасних вимог, для чого потрібно покращувати звучання, «прикрашати» його за допомогою всіляких електронних систем як аналогового, так і цифрового типу. Однак будь-яка обробка звукового сигналу призводить до додаткових спотворень. Мистецтво реставратора полягає в досягненні певного балансу між допустимими змінами і збереженням оригінального звуку [11,13].

Автор [8] в контексті музичних сигналів вважає, що реставрація як відновлення - поняття універсальне, що використовують у різних областях людських знань.

Відновлення стає можливим за умови достатності інформації, що міститься на носії, що вимагає реставрації, а також інформації, отриманої про об'єкт реставрації з різних джерел.

Втрата частин фізичного носія інформації або частини інформації, яка переноситься носієм не завжди виключає достовірну передачу цієї інформації. Очевидно, існує така кількість інформації (межа), при втраті якої унеможлиблюється сприйняття іншої частини. Щоб відновити втрачений

фрагмент необхідно, перш за все, зрозуміти, що відтворюється з фонограми, тобто дізнатися (розпізнати) частину об'єкта і, відповідно до своїх уявлень, домислити втрачені частини. Розпізнати - значить прийняти рішення про приналежність досліджуваного об'єкта до одного з відомих класів [8]. Таким чином, вважають, що достовірність відновлення залежить від достовірності розпізнавання. Достовірність розпізнавання (тобто ймовірність прийняття вірного рішення про приналежність об'єкта, що розпізнається до того чи іншого класу) залежить, зокрема:

- від кількості інформації, що міститься в досліджуваному фрагменті носія інформації,
- від кількості апіорної інформації, якою володіє суб'єкт розпізнавання, про що розпізнається об'єкті, тобто від набору різномірних знань, якими володіє людина.

В процесі відновлення музичного сигналу завжди маємо меншу кількість інформації, ніж містилося у початковому об'єкті, інакше реставрація безглузда. Одним із шляхів відновлення втраченої інформації є її «інтерполяція» і «екстраполяція» на основі даних, отриманих при розпізнаванні [8].

Спрощено, під "реставрацією" розуміють процес усунення завад і фонового шуму в умовах, коли їх виникнення не передбачалося в процесі виготовлення фонограми, а при запису на матеріальний носій фонограма була піддана попередній обробці з метою компенсації таких завад при відтворенні. Фактично, мова йде про те, що шумозниження в процесі реставрації проводять тільки на "стороні відтворення".

У контексті даної роботи під терміном відновлення приймемо відновлення тільки даних, що зберігаються на носії, причому незалежно від кінцевого результату, який може бути визначений наступними завданнями:

- без зміни якісних параметрів звучання, тобто зі збереженням оригінального звучання, характерного тому часу, коли фонограма була створена;
- з поліпшеними якісними показниками звучання, що максимально відповідають сучасним вимогам, придатними для трансляції фонограми в каналах

ТРВ, мультимедійних мережах, запису на цифровий носій;

- з прикрашеним звучанням, що визначається суб'єктивним ставленням до звучання звукорежисера і включає творчу складову відновлення звукорежисера-реставратора.

Будемо також вважати, що якщо носій пошкоджений, то, як правило, він відновленню не підлягає. Тобто якщо грамплатівка зламана, вона відновленню не підлягає, хоча її можна склеїти, а потім реставрувати і відновлювати інформацію.

Під терміном реставрація будемо розуміти сукупність реставраційних робіт самого носія і відновлювальних робіт даних, що зберігаються на носії. Тобто реставрація включає і реставрацію носія, і відновлення інформації [12].

На сучасному рівні розвитку технологій, а також з урахуванням сучасних вимог до якості звучання з боку споживачів під поняттями реставрації і відновлення фонограм будемо припускати, в першу чергу, як мінімум відповідність фонограми початкових умов, а як максимум - поліпшення якісних показників до рівня сучасних вимог і можливостей використання цих фонограм в ТРВ, мультимедійних технологіях і інше (багатоканальне звучання, широкий діапазон частот, мінімальний рівень шумів тощо).

Введемо також додатковий термін - структурування фонограм, під яким будемо припускати реставрацію фонограм зі свідомо поліпшеними параметрами, тобто штучне доведення фонограми в процесі реставрації і відновлення до оптимальних сучасних якісних показників, викликаних сучасними вимогами до фонограм і можливістю використання їх в мультимедійних технологіях. При проведенні структурованої реставрації передбачається підвищення якості сигналу за критеріями і об'єктивних, і суб'єктивних оцінок.

Відзначимо також, що реставрація фонограм, крім суто технічного боку, має і творчу складову [19,93].

У деяких випадках, під відновленням можна також розуміти цифро-аналогове перетворення звукового сигналу, записаного на цифровий носій [20, 21].

В даному випадку, в нашому контексті, будемо виділяти поняття реставрації

та відновлення тільки для аналогового сигналу, який в подальшому може бути залишений в аналоговому вигляді або перетворений в цифровий, сучасний вигляд звукової фонограми [22].

1.2 Класифікація звукових фонограм

Фонограма (від грец. Φωνή - звук і γράμμα - запис) - звукозапис, тобто звук, записаний на певному носії для зберігання і подальшого відтворення з цього носія.

У звукотехніці під терміном фонограма можна розглядати як звукову інформацію, записану на носій, так і фізичний носій із записаною звуковою інформацією.

Для аналогового запису звукову інформацію, записану на магнітний носій (магнітну плівку), будемо називати магнітною фонограмою. Звукову інформацію, записану на грамплатівку (вініловий, лужний диск), будемо називати механічною фонограмою, тому що передбачається механічний спосіб нанесення (запису) інформації. Фотографічна фонограма - це звукова фонограма, записана фотографічним способом на фотоплівку (характерно для запису звукового супроводу кінофільмів традиційного плівкового показу). У деяких джерелах фотографічну запис називають оптичним записом [14,29,34].

Для цифрового запису звукову інформацію, записану на компакт-диск з використанням лазера будемо називати оптичною фонограмою, а записану на флеш-накопичувач - твердотільною фонограмою. Для цифрового запису можна також відзначити магнітооптичну фонограму, записану на магнітооптичний диск, а також мультимедійну фонограму або файлову фонограму, яка записана на віртуальний носій.

У даній роботі будемо розуміти під терміном фонограма звукову інформацію, записану на носій, не розділяючи тим самим записаний сигнал у вигляді звукової інформації та носії інформації. Тобто фонограма - це звук, записаний на носій і носій як одне ціле.

Умовна класифікація звукових фонограм відображена на рис.1.1.

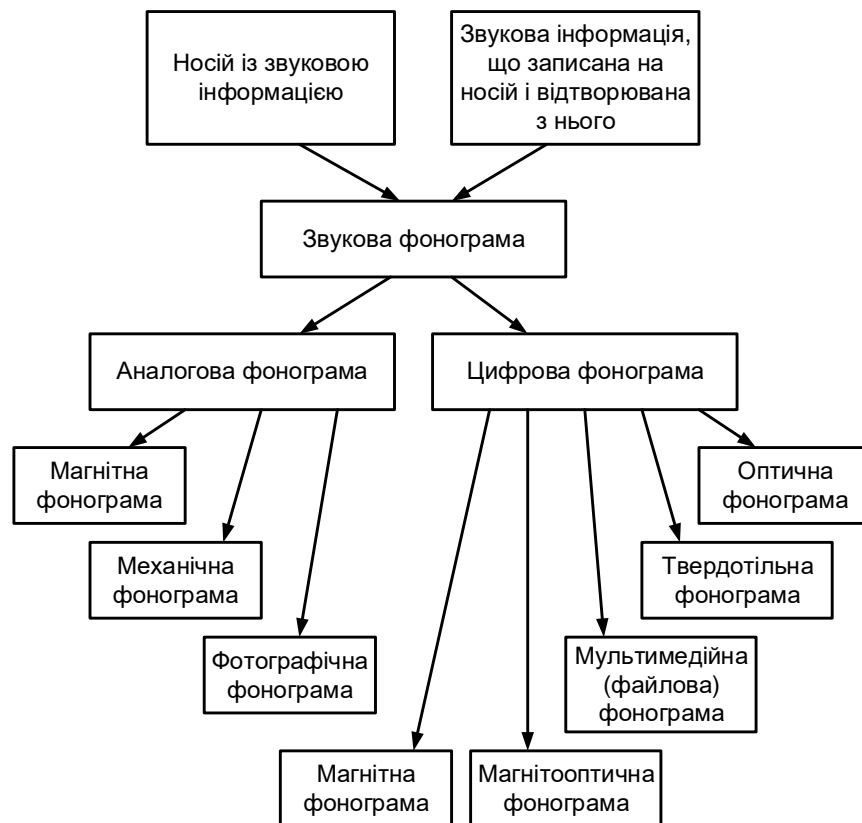


Рисунок 1.1 – Класифікація звукових фонограм

На рис. 1.2 наведено класифікацію фонограм після проведення реставраційних та відновлювальних робіт. З урахуванням передбачуваних робіт з реставрації та відновлення або після виконання умовного відновлення інформації на носії, не важно якому, фонограма може бути:

- втраченою за рахунок наявності дефектів носія або умов зберігання. Як правило, така фонограма повному відновленню не підлягає;
- не має помітних дефектів, обумовлених артефактами носія або умовами зберігання і може бути перезаписана на інший, наприклад, сучасний цифровий носій без зміни якісних показників;
- без зміни якісних показників, призначена для подальшого зберігання. Такі фонограми перезаписують на інший носій для, в першу чергу, продовження терміну зберігання. Для таких фонограм можлива обробка тільки артефактів носія, наприклад, видалення шумів магнітної стрічки;
- з поліпшеними якісними показниками. Такі фонограми, в першу чергу,

обробляють для поліпшення звукосприйняття їх, наданню їм звучання, яке можна порівняти з сучасним звучанням;

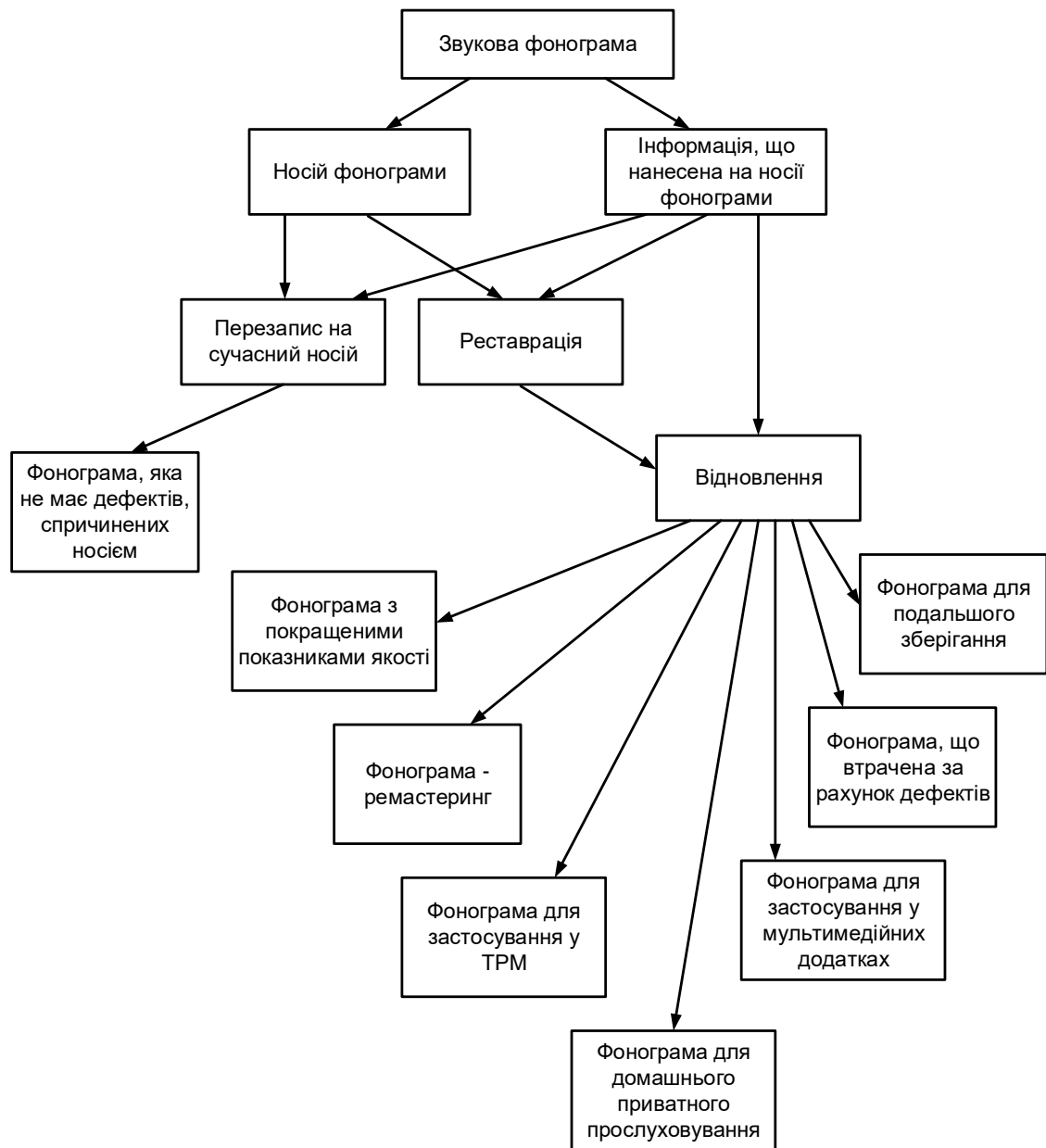


Рисунок 1.2 - Класифікація фонограм з урахуванням реставраційних та відновлювальних робіт

- фонограма-ремастерінг - це фонограма зі зміною не тільки параметрів записаного сигналу, але синтезом нових частотних складових, наприклад, складових, формуванням нового звучання фонограми, додавання нових

інструментів в фонограму, перемішування каналів, наприклад, для багатоканальної фонограми і інше;

- з поліпшеними якісними показниками для використання фонограм в сучасних мультимедійних додатках, на ТРМ з урахуванням специфіки каналів передавання звукових програм;

- з поліпшеними якісними показниками для використання фонограм в домашніх звукотехнічних комплексах, індивідуального прослуховування.

1.3 Критерії оцінювання якості звукових фонограм після реставрації та відновлення й методи оцінювання

Якісні показники фонограм після реставрація і відновлення фонограм повинні відповідати сучасним вимогам [30]. Оцінка якості відновлених після реставрації фонограм є важливим фактором для подальшого використання цих фонограм як аудіоконтенту в сучасних технологіях. Важливо визначити, якими критеріями якості необхідно оцінювати фонограми після РтаВФ. Якість фонограм при виконанні РтаВФ, в першу чергу, оцінюють наявністю, кількістю та значимістю артефактів у фонограмі, а, в другу чергу, якістю і властивостями корисної інформаційної складової фонограми.

Для контролю якості фонограм в процесі реставрації використовують суб'єктивні та об'єктивні методи, які можуть застосовувати як в оперативному, так і неоперативному режимах.

Оцінка якості звукових фонограм після реставрації та відновлення передбачає аналіз фонограми з точки зору якісних показників за такими напрямками [37]:

1. Суб'єктивний контроль якості фонограми, тобто оцінка акустичних параметрів звукових фонограм на виході тракту перетворення-реставрація-відтворення при прослуховуванні їх з використанням високоякісної звуковідтворювальної апаратури. (Тут і надалі при оцінці якості фонограм будемо вважати, що апаратура відтворення, апаратура реставрації і відновлення, і в

цілому все технологічне обладнання, яке використовують від початку реставрації фонограм і до їх остаточного прослуховування має досить високі технічні показники, практично не впливають на результати контролю якості).

2. Об'єктивний контроль якості результуючих (відновлених) фонограм, відтворених відповідної звуковідтворювальною апаратурою, тобто контроль акустичних сигналів за допомогою технічних засобів.

3. Об'єктивний контроль якості електричного сигналу звукової фонограми, тобто на виході звуковідтворювального тракту до акустичних систем.

Тобто можна узагальнено сказати, що для оцінки якості фонограм існують такі методи оцінки - метод суб'єктивної оцінки якості звучання фонограм, метод об'єктивної оцінки якості звучання, метод об'єктивної оцінки параметрів сигналу фонограм [40].

Метод суб'єктивної оцінки якості звучання, заснований на суворій конкретизації окремих параметрів, що визначають у сукупності якість фонограми. Оцінці підлягають як технічні, так і художні показники, що розглядають у сукупності і взаємозв'язку один з одним. Суб'єктивний контроль проводять в спеціалізованих приміщеннях, в яких передбачені відповідні акустичні умови за допомогою стандартних гучномовних систем або контрольних агрегатів. Гучномовні системи можуть бути ближньої, середньої і дальньої зони. При цьому вважається, що в ближньому полі неможливо адекватно проконтролювати НЧ-складові звучання. У деяких випадках суб'єктивний контроль проводять за допомогою стереотелефонів, однак вони не завжди точно передають особливості звучання, звук здається більш прозорим, зміщується локалізація, змінюється тембр [38].

Метод об'єктивної оцінки звучання передбачає вимірювання об'єктивних параметрів акустичного сигналу при відтворенні фонограми. Об'єктивний контроль це, по суті, вимірювання зіставних суб'єктивних параметрів з об'єктивними характеристиками, тобто вимірювання спеціалізованими приладами акустичних характеристик.

Метод об'єктивної оцінки параметрів сигналу фонограм дозволяє оцінити

технічні характеристики сигналу при проходженні його по тракту звуковідтворення.

Суб'єктивні методи передбачають слуховий контроль звучання фонограм за допомогою високоякісних гучномовців в спеціалізованому, акустично оформленому приміщенні - контрольній студії і, найголовніше, проводяться із залученням експертів. Такі методи вимагають достатнього фінансування і багато часу на їх реалізацію, хоча без них обійтись не можна.

Для проведення об'єктивного контролю якості в реальних умовах при реставрації та відновленні фонограм використовують апаратні і програмні засоби вимірювання параметрів фонограм, а також розроблені інструментальні методи, звані моделями якості. Такі методи передбачають наявність спеціалізованого ПЗ, призначеного для автоматичного визначення якості сигналу, який відтворюється з фонограми [84].

Основними засобами, які використовують звукорежисери-реставратори при суб'єктивному контролі якості - це гучномовці, акустичні системи й навушники (стереотелефони), а при об'єктивному контролі - це індикатори рівня, спектроаналізатори, візуальне відображення сигналограми і інші вимірювальні засоби, вбудовані, як правило, в ПЗ роботи із звуком.

Всі сучасні методи контролю якості фонограм вимагають або достатньої підготовки до проведення експертизи, в разі суб'єктивного контролю, або наявності спеціалізованих ПЗ для виконання об'єктивного контролю [37].

Особливість контролю якості фонограм при виконанні РтаВФ полягає в тому, що, по-перше, звукорежисер-реставратор не знає вхідних якісних показників звучання і покладається повністю на власний досвід в оцінюванні якості, по-друге, як правило, немає оригіналу звучання звукового фрагмента і немає з чим порівнювати якість, по-третє, кінцевий результат якості звучання залежить від наявності та "величини" артефактів фонограм, а також від подальшого використання фонограми.

Коректна оцінка якості звучання фонограми давно є свого роду проблемою для аудіо-інженерів і звукорежисерів. Дана проблема полягає в тому, що до

теперішнього часу не існує чіткої кореляції між об'єктивними параметрами звукового тракту, самого сигналу і суб'єктивним сприйняттям звукового сигналу.

Уміння професійно оцінити якість фонограми до і після РтаВФ - одне з найважливіших умов успіху роботи звукорежисера-реставратора. При цьому слід прагнути до того, щоб оцінки були за можливістю об'єктивні і однозначні. Технічна якість фонограм має обов'язково розглядатися поряд з естетичною оцінкою, тобто, суб'єктивним сприйняттям художньої цінності фонограми. Оцінка якості звучання фонограм в процесі РтаВФ повинна проводитися в спеціальному приміщенні з необхідними акустичними умовами.

Суб'єктивний експертний контроль передбачає оцінювання якості звучання шляхом прослуховування фонограми через високоякісні гучномовці в акустично оформленому приміщенні і з використанням не менше 5 експертів [39].

Суб'єктивні характеристики якості нових звукових фонограм визначені міжнародними стандартами (згідно з протоколом OIRT (Асоціація організацій мовлення країн РЕВ), аналогічний оцінним протоколам CCIR (нині ITU) і Міжнародного звукотехнічного суспільства AES - AES20-1996, IEC 268-5 та ін. OIRT (Organisation Internationale de Radiodiffusion et de Télévision), ITU-R (International Telecommunication Union - Radio communication Sector4), EBU (European Broadcasting Union)) [41].

Оцінка якості проводиться за 5-бальною системою і узагальнено може бути описана такими значеннями: 5 (відмінно) - фонограма досить хорошої якості, без істотних недоліків, придатна для мовлення; 4 (добре) - фонограма хорошої якості, з незначними недоліками, придатна для мовлення; 3 (задовільно) - фонограма зі значними технічними або художніми недоліками, може бути прийнята умовно до разової передачі; 2 (незадовільно) - фонограма поганої технічної якості, що являє документальну цінність; 1 (погано) - фонограма, що має суттєві недоліки, непридатна для мовлення.

При оцінці якості на запис або фонограму заповнюються відповідні протоколи (табл. 1.1). Експерти виставляють, кожен окремо, біля параметрів ту чи іншу оцінку. У нижній частині оціночного протоколу ставиться загальна оцінка

("Загальне враження"). Потім за протоколами всіх учасників експертизи суб'єктивні думки - оцінки статистично обробляють, в результаті чого виставляють об'єктивну оцінку, як по окремих параметрах, так і загальну про прийнятність фонограми в цілому.

Таблиця 1.1 - Випробувальний протокол для суб'єктивної оцінки якості записів

Експерт, група прослуховування					Випробувальний протокол №	Дата
Назва					Сtereo	
	5	4	3	2	1	Примітка
1. Просторове враження						
2. Прозорість						
3. Музичний баланс						
4. Тембр (забарвлення звуку)						
5. Завади та перешкоди						
6. Художня якість						
7. Аранжування						
8. Техніка звуку						
9. Стереовраження						
10. Загальне враження						
Шкала оцінок	відмінно				5	
	добре				4	
	задовільно				3	
	не задовільно				2	
	Погано (не придатне)				1	

Кількість і назви критеріїв суб'єктивної оцінки якості фонограм може бути різними. Кожен автор в роботах [38,39,42] описує якісні показники фонограм, покладаючись на свій досвід роботи зі звуком. У деяких роботах [43,44] у визначення критеріїв якості фонограм не враховуються творча або виконавська сторона звуковий програми. Але в більшості випадків суб'єктивні характеристики якості фонограм припускають оцінку звучання фонограм за такими основними критеріями: просторове враження, прозорість, музичний баланс, тембр, завади, художня якість (виконання), інструментування (аранжування), звукорежисерська техніка (техніка прийому звуку), стереофонічний ефект, загальне враження

В роботі [38] розглянуті ці критерії з описом особливостей їх використання.

Розглянемо і в нашому контексті ці критерії відповідно до [38] з деякими доповненнями.

Так під поняттям просторового враження або просторовості звучання фонограм, в першу чергу, розглядають загальну акустичну атмосферу в приміщенні, де проводився запис. Просторовість характеризує звукову картину по ширині (стереовраження) і по глибині (наявність одного або декількох планів - багатоплановість), формує відчуття відстані від слухача до інструменту або групи інструментів. На просторовість в запису впливають ранні відбиття сигналу і реверберація, її час і рівень [38].

У разі РтаВФ просторовість - характеристика, яку рідко вдається зберегти в результаті РтаВФ, однак, для поліпшення звучання можуть бути використані різні пристрої звукових ефектів за часовими параметрами, наприклад, ревербератори, затримка сигналу тощо. І тут важливо не перебільшити, використовуючи відповідні пристрої. Для готової фонограми використання таких пристроїв веде до перетворення всього звукового образу, а бажано ефект вводити лише для окремих інструментів і звуків.

Під прозорістю розуміють деталізацією, хороше розрізнення звучання окремих інструментів в оркестрі, чутність тембру кожного інструмента, ясність музичної фактури і розбірливість тексту, читаність окремих інструментів в загальній масі джерел звуку [42]. Прозорість безпосередньо пов'язана з акустичною обстановкою приміщення запису з особливістю розміщення інструментів в загальній звуковій картині під час запису. Прозорість також залежить від музичного та тонального балансів, від інструментальної фактури твору і, звичайно, від якості виконання.

У разі РтаВФ прозорість може, в якійсь мірі, бути поліпшена різними фільтрами і еквайзерами.

Музичний баланс - це, в першу чергу, правильні пропорції між рівнями гучності компонентів партитури - інструментів, вокалістів, оркестрових і хорових груп, між головними і другорядними музичними партіями, як по гучності, так і по перспективі. Музичний баланс формується на етапі запису фонограми, однак, він

залежить від умов прослуховування - безпосередньо в залі або в приміщенні через гучномовці, тобто від якості електроакустичного обладнання, від акустичної обстановки приміщення з урахуванням частотної характеристики приміщення [38].

При РтаВФ деякий музичний баланс може бути умовно скоригований внаслідок використання обмежувачів рівня і, знову таки, регуляторів тембру.

Тембр або забарвлення звуку поєднує в собі згідно [42] тональний баланс і темброву достовірність звучання фонограми.

Тональний баланс визначають співвідношенням між різними частотними областями і регістрами звукового діапазону. З технічної точки зору тональний баланс - це явно виражена нерівномірність частотної характеристики, як окремих інструментів, так і всього звукового образу в цілому. Залежно від частотної області, в якій створюється надмірна нерівномірність, тобто підйом або спад АЧХ, тональний баланс звучання має характерні ознаки. [38]

Темброва достовірність - це передача природного, впізнаваного, неспотвореного в тембральному розумінні звучання музичних інструментів і голосу.

Тембральне забарвлення звучання істотно впливає на відновлену в процесі реставрації фонограму. Більш того, тембр звучання багато в чому залежить від суб'єктивних понять про тембр звукорежисера-реставратора. В процесі запису фонограми звукорежисери часто штучно змінюють натуральний тембр окремих інструментів, надаючи їм специфічного звучання або для компенсації спотворень, що вносяться при знятті сигналу з інструменту або при недоліках в звучанні самого інструменту. При РтаВФ важливо визначити натуральність і штучність звучання інструментів. Іноді при РтаВФ реставратор сам штучно вводить необхідне тембральне забарвлення, з одного боку, для поліпшення звучання звуку в цілому, і, з іншого боку, для виправлення деяких артефактів, що проявилися в процесі зберігання фонограми або специфіки запису. Також тембральна обробка використовується для забезпечення часткової просторовості, музичного балансу звукового образу.

Автор [42] в контексті екології тембру зазначив, що частіше кожен слухач підлаштовує тембр під свої смаки. Одні - просто компенсують нелінійність АЧХ власного слуху або акустичних систем, інші – максимально збільшують високі і нижні частоти, перекреслюючи працю звукорежисера. Для такого слухача звук природного тембру, який він почув би в залі, набагато "гірше" того, який лунає з динаміків у його квартирі. Звідси ми можемо зробити висновок, що об'єктивних критеріїв оцінки тембру звуку практично немає. Є тільки суб'єктивне сприйняття слухача. Однак здатність об'єктивно оцінювати тембр звуку може бути вироблена звукорежисером в концертних залах і в кінцевому підсумку - в студії звукозапису. Досвідчений професіонал здатний вловити і скорегувати найменші спотворення тембру, навіть якщо вони знаходяться в межах 1,5-2 дБ.

Збереження природності звучання, тембру в його первинному вигляді - важливе завдання звукорежисера. Тембр звуку втрачає свою природність під впливом багатьох причин. Головна з них - нелінійність АЧХ аналогового тракту передачі звуку. Найбільш яскраво прояв цього фактору відчувається при прослуховуванні далеко не першої аналогової копії оригіналу. Є й інші причини, які погіршують тембр звуку. Це неправильне встановлення мікрофонів, недоліки студійного приміщення (наявність резонансу), спотворення контрольних акустичних систем, які змушують звукорежисера вибирати неправильну частотну корекцію при запису, і багато іншого. Коли звукорежисер виявляється в спокійній обстановці і прослуховує фонограму через хороші акустичні системи, можуть виявитися недоліки, що вимагають застосування цифрових (або аналогових) фільтрів.

Завади або помітність завад і спотворень і визначає помітність на слух фонового шуму, наведень, гулу, тріску і клацань, а також випадінь і змін рівня сигналу, нелінійних спотворень і інтермодуляції - всього того, чого не було в початковому сигналі і що з'явилося в міру проходження сигналу через звукозаписувальний тракт. Цей аспект якості фонограм, в першу чергу, є технічним і залежить від використовуваного звукотехнічного обладнання. Однак наявність акустичних шумів, проникаючих в погано ізольоване приміщення або ж

шумів, створюваних виконавцями, шумів, створюваних публікою в залі під час запису живого концерту, також необхідно враховувати.

Як завади в своєму прямому розумінні розглядають [44]:

- шуми, що проникають в студію в результаті недосконалості звукоізоляції і створювані самими виконавцями;
- електричні наведення, фон, шуми підсилювачів, шум магнітної стрічки в паузах, модуляційний шум, копірефект;
- імпульсні завади - електричні потріскування, клацання тощо;
- сильні нелінійні спотворення, помітна на слух детонація, перешкоди від монтажних склеєних, а також від спрацювання автоматичних регуляторів рівня.

Сучасне обладнання і технології в більшою мірою позбавлені цих недоліків, однак неправильний вибір динаміки рівнів сигналів може призвести до цифрових спотворень.

Використання відповідного програмного забезпечення дозволяє виправляти багато помилок і недоліки обладнання.

Художня якість як критерій якості фонограм не є технічною відсталістю та визначає, в основному, художні переваги фонограми і особливо якість виконання звукової програми виконавцями. Художня якість визначається професіоналізмом виконавців - музикантів, вокалістів, а також особливостями використання індивідуального обладнання для звуковидобування (музичних інструментів, вокальних здібностей) і специфічної обробки звуку. Художня якість визначається також особливостями жанру програм, стилем музики. Від якості виконання залежить загальна оцінка запису [43].

Якість виконання, в деякій мірі, характеризує і роботу звукорежисера, адже саме він повинен донести до слухача всі нюанси передачі звукової програми самих виконавців, в такому вигляді, якою хоче сам виконавець.

Разом з поняттям художньої якості фонограми важливою є художня цінність запису, критерій, який, як би, інтегрований з художньої якості. Цей умовний критерій відображає - чи буде цінна фонограма через певний проміжок часу. Вища оцінка означає повну комерційну придатність запису, в якій немає технічних і

музичних недоліків і яку можна сміливо видавати, продавати або транслювати по радіо і телебаченню. Якщо ж окремі недоліки є, то вони знижують цінність фонограми аж до її непридатності до публікації.

Художню цінність запису визначає параметр "технічна якість" фонограм. Саме цей параметр може бути визначальним для проведення РтаВФ. Фонограми, що зберігалися більше 10 років, можуть вважатися технічно недосконалими для сучасних технологій звукопередавання і, як правило, вимагають реставрації. Як описано в статтях [15,16] фонограми механічної та магнітної записів набувають певні артефакти в процесі зберігання, а також викликані специфікою запису. Важливо відзначити, що в результаті самої РтаВФ з використанням комп'ютерних технологій до традиційних завад і спотворень додаються перешкоди і спотворення, викликані аналого-цифровим перетворенням сигналу і наслідком різних комп'ютерних обробок сигналу.

Аранжування або інструментування і її якість - творча сторона фонограми, що відображає стилістику музичного твору, особливості підготовки та адаптації музичного твору для подання його у формі, відмінній, наприклад, від первісної, що допускає зміну гармонії, застосування модуляцій, транспозиція, додавання нового матеріалу, створення полегшеної версії оригінального твору тощо.

В контексті РтаВФ даний критерій може бути замінений на критерій обробки фонограми і її якість, що припускає використання різних видів обробки сигналу і використання звукових ефектів для поліпшення якісних показників звучання. Тут не розглядається зменшення шумів і інших артефактів, які погіршують фонограму як звуковий продукт.

Техніка звукозапису оцінюється технологічними рішеннями, до яких вдався звукорежисер. Цей критерій заснований на досвіді роботи звукорежисера, на використанні ним технологій прийому звукових сигналів. Сюди входить правильний вибір мікрофонів і їх розстановка відповідно до мікрофонної карти, використання приладів частотної корекції і динамічної обробки сигналів, застосування реверберації і інших ефектів, якість мікшування джерел сигналу і монтажу фонограми, а також інші аспекти [39].

Сучасні технології та способи звукозапису припускають використання звукових робочих станцій, відповідного програмного забезпечення для обробки звуку, віртуальних носіїв інформації, багатоканальність запису, використання мережевих каналів зв'язку для обміну і передачі даних.

Стереофонічність або стереовраження передбачає, в першу чергу, точність локалізації удаваного джерел звуку, ширину звукової картини, баланс між лівою і правою сторонами, точність сприйняття центру сцени, відсутність звукових дірок в середині ансамблю виконавців, а також продумане розміщення джерел по ширині звукової сцени. Стереофонічний ефект передбачає використання не менше двох гучномовців, один з яких відтворює лівий канал, а точніше в ньому локалізуються при прослуховуванні інструменти та виконавці, розташовані ліворуч від центру сцени, а інший гучномовець відтворює удавані джерела звуку, умовно розташовані праворуч від центру сцени. Необхідно також відзначити, що обидва гучномовця у стереофонічній системі передачі відтворюють удавані джерела звуку (УДЗ), розміщені в центрі сцени. Важливим показником стереофонічності фонограми є сумісність між каналами, а також з монофонічним відтворенням. Стереофонічність фонограми також вносить специфічну акустичну атмосферу звучанням і ефект присутності слухача в приміщенні, де відбувається передавана звукова подія [38].

Загальне враження - загальна остаточна оцінка фонограми, розглядається як сума оцінок, даних усіма експертами незалежно один від одного.

Як критерій оцінки якості фонограм розглядається динамічний діапазон або щільність звучання. Щільність звучання, в якомусь наближенні оцінюється гучністю окремих інструментів, точніше динамічним діапазоном інструментів і всього звукового образу, всього ансамблю. Надмірна компресія джерел і фонограми в цілому веде до збільшення щільності, проте погіршує динаміку звучання. Щільність багато в чому залежить від професіоналізму звукорежисера створюваної фонограми [42].

В роботі [43] до перерахованих вище критеріїв якості автор пропонує додати ще такі критерії - світлість і яскравість звучання, звукові плани, динамічний

діапазон і гучність, а також розширити критерій просторовості просторовою перспективою (життєвістю), прозорість - розбірливістю і чистотою, аранжування - інструментовкою, якість виконання - ансамблем. Як стверджує автор, ці критерії більше придатні для оцінки художньої якості фонограм з урахуванням сучасних цифрових технологій звукозапису та звуковідтворення.

Для оцінки якості фонограм при виконанні робіт з РтаВФ необхідно враховувати всі перелічені критерії, однак, не за всіма критеріями можна досягти кращих результатів в процесі РтаВФ.

Серед перерахованих критеріїв в результаті РтаВФ можна, в деякому розумінні, скорегувати прозорість, тембральне забарвлення, стереофонічне враження і особливо завади і шуми.

У більшості випадків РтаВФ передбачає видалення або зменшення слухового відчуття артефактів, які виникли в результаті довготривалого зберігання фонограм або в результаті запису фонограми на певний носій.

На жаль, в результаті виконання робіт з РтаВФ відбуваються обов'язкові втрати за деякими показниками. Наприклад, видалення або зменшення шуму в фонограмі обов'язково призведе до зниження рівня окремих складових сигналу, особливо ВЧ.

Серед додаткових критеріїв оцінки якості фонограм після виконання РтаВФ можна назвати суб'єктивну подібність або відповідність звучання початковому звучанню. Правда, в деяких випадках реставратор не знає вихідне звучання, він може тільки здогадуватися, посиляючись на досвід відчуття звучання окремих звуків, припускати, як повинен звучати окремий інструмент або голос.

Перед проведенням будь-яких відновлювальних і реставраційних робіт зі звуковими фонограмами необхідно попередньо прослухати фонограму і суб'єктивно оцінити її якість, а також за допомогою вимірювальних приладів об'єктивно оцінити загальні технічні показники.

З урахуванням первісної якості фонограми проводять необхідні відновлювальні та реставраційні роботи над фонограмою.

У процесі і після проведення РтаВФ як основні критерії для суб'єктивного

оцінювання якості звучання фонограм обрано такі [90]:

- Просторове враження.
- Прозорість та деталізація звучання.
- Музичний баланс.
- Спектральний (тональний) баланс (тембр, забарвлення звуку).
- Завади, помітність завад і вид шумів і завад:
 - структурний шум;
 - імпульсні завади – клацання;
 - взаємні завади фонограми - копірефект, вплив Л і П каналів один на

одного.

- Обробка фонограми - художню якість обробки.
- Динамічний діапазон, рівномірність рівнів.
- Помітність спотворень.
- Звукорежисерська техніка (техніка реставрації і відновлення звуку).
- Стерефонічний ефект, відповідність Л і П каналів.
- Загальне враження.

Важливо відзначити, що суб'єктивні критерії оцінки якості фонограм, а в нашому випадку після РтаВФ не можуть бути оцінені за допомогою об'єктивних вимірювальних приладів.

Об'єктивний контроль якості фонограм забезпечується інструментальними методами [45].

Істотним недоліком переважної більшості сучасних досліджень, спрямованих на об'єктивізацію оцінювання якості спотворених сигналів, є переважний інтерес до "інтрузивних" показників, тоді як задачі реставрації фонограм вимагають використання або "неінтрузивних", або так званих "параметричних" показників.

В даний час для проведення об'єктивних експертиз використовуються різні рекомендації, наприклад, рекомендації міжнародних організацій МККР і МККТТ. На підставі рекомендаційних документів розроблені і реалізуються різні методики проведення об'єктивних випробувань. Суть об'єктивних випробувань - це

вимірювання параметрів звукового сигналу (ЗС) (як акустичного, так і електричного). Але об'єктивні параметри не можуть в повній мірі сформувати оцінку якості фонограми, особливо з урахуванням емоційної складової. Тому поряд з об'єктивною оцінкою параметрів фонограми і звукового тракту, обов'язково необхідна суб'єктивна оцінка якості.

Оцінка якості звучання фонограм в більшості випадків проводиться методом REAQ, як основним стандартизованим МСЕ методом [46]. Однак цей метод не розглядає фонограму з урахуванням носія. Адже для кожного носія фонограм є свої переваги і недоліки. Тим більше, якщо питання стосується відновлення раніше записаних фонограм і їх якості після відновлення. Завжди є в фонограмі залишки (артефакти), властиві відповідному носію. Деякі з таких артефактів не роблять істотного впливу на якість, деякі можна не розглядати (не враховувати), а деякі дуже сильно змінюють якість фонограми.

Об'єктивними параметрами, за якими оцінюють якість фонограми, є рівень сигналу, частотна характеристика, нелінійні спотворення, співвідношення сигнал/шум, динамічний діапазон, фазові і рівневі співвідношення між каналами стереосигналу, проникання з каналу в канал стереосигналу [37].

Інструментальні методи оцінювання якості фонограм припускають використання вимірювального обладнання для визначення значення вимірюваного параметра сигналу. Для проведення інструментальних методів оцінювання якості широко використовуються програмні вимірювальні модулі, що вбудовуються в програмні засоби роботи зі звуком.

Інструментальні методи оцінювання якості фонограм засновані на математичній моделі, яка встановлює взаємозв'язок між сприйняттям звуку і фізичною величиною, прикладом якої може бути закон Вебера-Фехнера про логарифмічний закон сприйняття звукових сигналів людиною.

Інструментальні методи у цілому класифікують за трьома групами [45]:

- моделі на основі параметрів, що передбачає попередній опис параметрів, за якими проводитиметься оцінка якості. Такі моделі дозволяють прогнозувати якість сигналу, що буде сприйматися;

- моделі на основі сигналів, що передбачає формування тестових сигналів, якість яких оцінюють після проходження по тракту звукопередачі і порівнюють з вхідним. Ці моделі припускають порівняння сигналів після проходження по трактах звукопередачі і використання певних пристроїв обробки сигналів;

- моделі на основі пакетів передбачає оцінку певних умов обробки сигналу в комплексі параметрів або оцінку впливу каналів передачі на результуючий сигнал, причому такі моделі дозволяють аналізувати якість сигналу за кількома параметрами одночасно.

Вибір інструментальної моделі залежить від поточного стану фонограми і її інформаційної складової.

Для реставрації та відновлення звукових фонограм широко використовують моделі на основі параметрів, а також моделі на основі пакетів. Серед моделей на основі параметрів застосовують модель на основі рейтингу гучності (Loudness Rating model), що базується на процедурі оцінки втрати гучності в телефонних мережах, модель думок (Opinion model), що базується на алгоритмі прогнозування думок користувачів телефонного зв'язку та інші. Як модель на основі пакетів застосовують електронну модель (E-model), що базується на визначенні рейтингу сигналу за пакетом параметрів до передавання по каналах зв'язку та на виході каналу з урахуванням завад і спотворень, які вносяться електричним каналом передавання, PEAQ модель (Perceptual Evaluation of Audio Quality, перцептуальна оцінка якості аудіо) та інші [37].

Відповідно Е-моделі сигнал, що підлягає реставрації на початковому етапі ще під час запису, визначено рейтингом R_0 . Після запису на відповідний носій, після багаторазового відтворення і тривалого зберігання рейтинг сигналу значно змінюється і може бути записаний наступним виразом

$$R = R_0 - I_S - I_d - I_e + A, \quad (1.1)$$

де I_S - артефакти, що визначаються місцем запису, акустичними умовами запису, шумами, що з'являються в місці запису тощо, I_d - артефакти, визначені недоліками апаратури, I_e - артефакти, визначені умовами зберігання фонограми, A - параметр

переваги, що показує переваги однієї фонограми по відношенню до іншої [37].

Моделі на основі сигналів, в прямому розумінні, можна використовувати в тому випадку, якщо відомо початкові параметри і форма сигналу, з якими можна порівнювати результуючий сигнал після РтаВ. Моделі на основі сигналів - це PSQM модель (Perceptual Speech Quality Measure, перцептуальний показник якості мовлення), PAQM модель (Perceptual Audio Quality Measure, перцептуальний показник якості аудіо) тощо [45].

Моделі на основі параметрів дозволяють оцінювати значення кожного параметра сигналу незалежно один від одного, а потім, об'єднавши їх в загальну картину визначити якість фонограми. Для такої моделі необхідно задати перелік параметрів, які будуть визначати якість фонограми. З переліку параметрів моделі на основі параметрів мають можливість припускати якість результатів РтаВФ.

Модель на основі параметрів не завжди дозволяє оцінити сам сигнал з корисною інформацією на виході системи при безпосередньому контролі якості самого сигналу. Крім цього моделі на основі параметрів менш надійні при наявності багатопрофільних і комбінованих артефактів. В цьому випадку краще використовувати інструментальні методи, що базуються на сигналі [45].

Ці моделі ділять на дві групи - інтрузивні моделі і неінтрузивні моделі. Інтрузивні засновані на подвійному методі вимірювання, при якому використовують еталонний чистий сигнал $x(t)$ і, відповідно, деградований артефактами сигнал $y(t)$. Інтрузивний метод має можливість порівнювати еталонний сигнал з сигналом, що пройшов канал передачі або канал запису.

Неінтрузивні моделі є односторонніми і припускають роботу тільки з результуючими сигналами, тобто сигналами на виході системи, а саме, деградованими сигналами. Неінтрузивні моделі не мають можливості порівняння вихідного сигналу з еталоном, так як такого не існує.

Структурна модель процесу запису фонограм і реставрації з використанням інтрузивних і неінтрузивних моделей наведена на рис. 1.3 [45].

Запропоновані методи об'єктивного контролю фонограм як то: PEAQ метод [46], оновлені методи Хьюбера [48], Барбедо [49], Ватанабе [50] та інші [54-57],

детальний огляд яких викладено в роботі [45,47], не завжди придатні для процесу РтаВФ.

Принцип об'єктивного оцінювання якості звуку з використанням технології PEAQ полягає в програмному моделюванні характеристик, властивих сприйняттю людиною звукового сигналу, з подальшою оцінкою відмінностей в звучанні вихідного сигналу системи або тракту проходження звуку в порівнянні з вхідним (тестовим) сигналом [51]. Структура методу PEAQ являє послідовне включення психоакустичного ланки моделі і когнітивної ланки. Вхідними сигналами для психоакустичної ланки в структурі PEAQ є референсний (оригінальний) сигнал і реальний деградований (спотворений) особливостями каналу передачі сигнал. Їх порівнюють за різними психоакустичними ознаками і створюють для кожної ознаки свою вихідну змінну (MOV), яка відповідно до когнітивного аналізу формує підсумкову оцінку якості в балах (ODG) від "0" (погіршення непомітно) до "-4" (погіршення дуже подразнююче) [46].

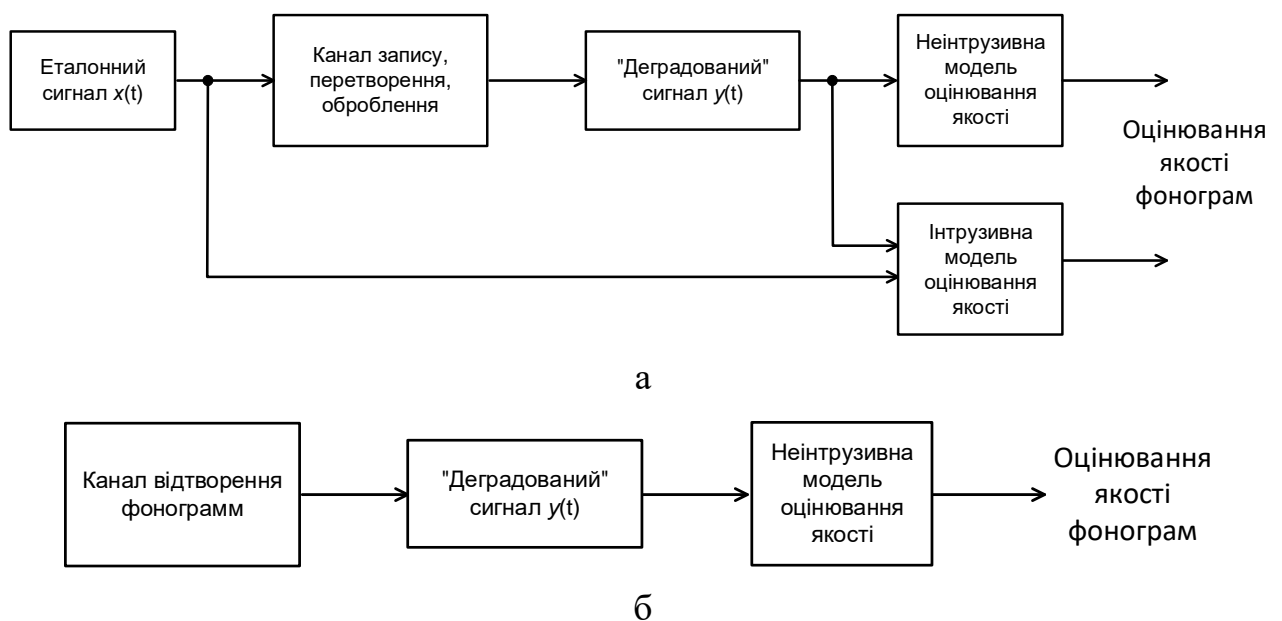


Рисунок 1.3 - Структурна модель оцінювання якості створення фонограм при наявності еталонного сигналу під час запису (а) і реставрації фонограм при наявності тільки сигналу відтворення (б)

В PEAQ методі як основний принцип побудови перцептуальної моделі використовується визначення максимального рівня шуму, який людина не

сприймає [46]. Причому, цей рівень може змінюватися в залежності від часових і частотних характеристик сигналу і, відповідно, буде змінюватися межа розпізнавання людських слухом цих шумів. Метод PEAQ базується на оцінці маскування корисного (замаскованого) інформативного сигналу шкідливим шумовим (маскуючим), що збігається з ним у часі з урахуванням спектрального складу замаскованого та маскуючого й взаємного розташування в часовому масштабі [51].

Оскільки для оцінювання якості звуку в процесі РтаВФ необхідна об'єктивна оцінка якості відновленого сигналу, а саме оцінка залишків артефактів, їх вплив на інформативну складову звукового сигналу і результати поліпшення сигналу в порівнянні з початковим, спотвореним наявністю артефактів. Тобто передбачено зворотне оцінювання, зворотний підхід - не аналіз наявності спотворень, створених каналом передачі звуку, а аналіз відсутності спотворень після РтаВФ.

Для РтаВ робіт технологія PEAQ не завжди підходить, оскільки невідомі параметри і властивості вхідного корисного сигналу, тому краще застосування методу оцінювання якості звучання фонограм після РтаВФ з урахуванням наявності артефактів у фонограмі.

Для цього бажано моделювати не перцептуальні характеристики слуху, як це здійснюється в PEAQ, а шуми та інші артефакти, властиві носіям інформації, а в результаті оцінювання якості оцінювати і порівнювати наявність артефакту, його рівень і зміни корисного сигналу.

На відміну від перцептуального оцінювання якості аудіо (PEAQ - ПОЯА) для оцінювання якості звуку в процесі РтаВФ запропоновано застосування моделі артефактного оцінювання якості аудіо (АЕАQ - АОЯА) або оцінювання якості аудіо за наявністю артефактів, де передбачається першочерговий аналіз і визначення артефактів в звуковому сигналі. Для даної моделі фонограму відтворюють відповідним пристроєм і сигнал подають одночасно на шумову ланку моделі і психоакустичну ланку моделі (рис. 1.4) [37,83].

Шумова модель порівнює можливі артефакти фонограм з банком фонограм, складений щодо можливих артефактів різних носіїв запису, з урахуванням

спектральних, рівневих і часових характеристик. Психоакустична модель, як і в перцептуальній моделі, моделює психоакустичні особливості сприйняття людиною звуку з поділом на різні особливості і визначає вплив відповідного артефакту на корисний сигнал. Результатом аналізу також можуть бути як зазначення наявності певного артефакту, його окремі параметри (рівень, спектр, періодичність в фонограмі), так і якісна числова оцінка.

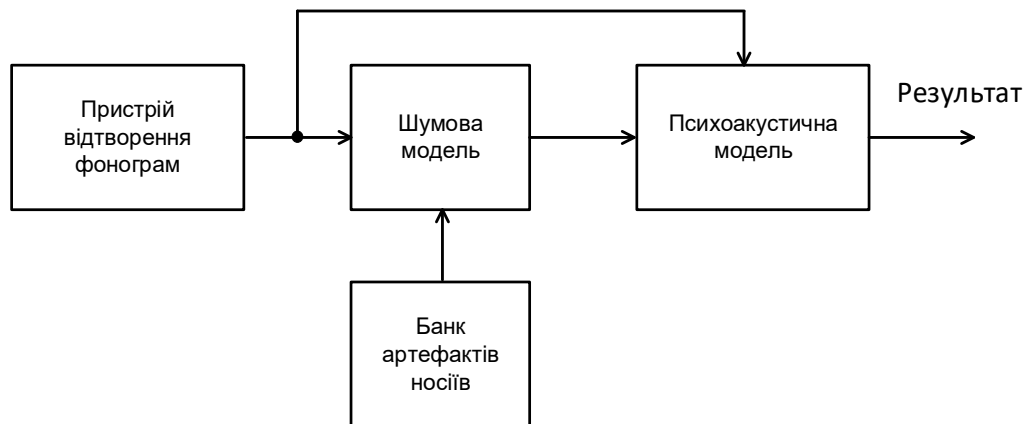


Рисунок 1.4 - Структура алгоритму АОЯА моделі

Особливість моделі АОЯА полягає в програмному моделюванні різних артефактів фонограм з подальшим перетворенням вихідних значень порівняння артефактів з їх впливом на корисний сигнал. На основі вихідних результуючих значень оцінка може трактуватися, як і для ПОЯА [46], за шкалою:

- 0 - вплив артефакту не сприймається;
- 1 - вплив артефакту незначний (не дратує);
- 2 - наявні артефакти злегка дратують;
- 3 - артефакти неприємні при прослуховуванні;
- 4 - артефакти значні і дуже неприємні для сприйняття.

Для реалізації моделі об'єктивного оцінювання якості сигналу в процесі РтаВФ можна застосувати метод параметричного кодування сигналу, який використовується в системах компресії цифрових аудіоданих типу MPEG-4 [52].

Відомо, що реальний звуковий сигнал в синусоїдальній моделі може бути записаний у вигляді

$$x(t) = \sum_{i=1}^I A_i(t) e^{j\varphi_i(t)}, \quad (1.2)$$

де $A_i(t)$ - амплітуда i -ї спектральної складової в залежності від часу, $\varphi_i(t)$ - її фаза, $\varphi_i(t) = \int_{-\infty}^t \omega_i(\tau) d\tau$, I - число спектральних компонент; $\omega_i(\tau)$ - миттєва частота спектральної складової в залежності від часу.

З урахуванням артефактів носіїв запису сигнал фонограми, що підлягає РтаВ, може бути записаний як

$$x(t) = \sum_{i=1}^I A_i(t) e^{j\varphi_i(t)} + y(t), \quad (1.3)$$

де $y(t)$ - шумові складові сигналу, так звані артефакти фонограми, які визначаються носієм запису $n(t)$, умовами зберігання фонограми $k(t)$, іншими факторами (умовами початкової записи і апаратурою відтворення) $m(t)$. З урахуванням артефактів сигнал фонограми може бути записаний у вигляді

$$x(t) = \sum_{i=1}^I A_i(t) e^{j\varphi_i(t)} + y(t) = \sum_{i=1}^I A_i(t) e^{j\varphi_i(t)} + n(t) + k(t) + m(t) + C, \quad (1.4)$$

C - функція, що визначає наявність артефактів у фонограмі.

У дискретно-часовому поданні з урахуванням тональних компонент сигналу і шумових компонент сигнал реальної фонограми може бути записаний у вигляді

$$x(n) = \sum_{i=1}^I A_i(n) \cos[\varphi_i(n)] + y(n), \quad (1.5)$$

де $\sum_{i=1}^I A_i(n) \cos[\varphi_i(n)]$ - сума спектральних компонент із змінними у часі значеннями амплітуд, частот, фаз корисної частини сигналу, $y(n)$ - шумові складові сигналу, включаючи артефакти фонограми.

В процесі РтаВ корисного сигналу фонограми застосовна фільтрація сигналу внаслідок видалення артефакту, в результаті маємо відновлений сигнал $x'(t)$

$$x'(t) = x(t) - y(t). \quad (1.6)$$

Цей сигнал відрізняється від вхідного, так як повністю відновити початкові параметри не вдається.

При оцінювання якості звучання фонограм відбувається аналіз окремих параметрів корисної частини фонограми і артефактів і як результат відображаються умовні градації артефактів і їх вплив на корисний сигнал.

Принцип параметричного моделювання процесу об'єктивного оцінювання якості фонограми полягає в наступному. Вхідний звуковий сигнал, пошкоджений артефактами фонограми, надходить на вхід блоку розділення сигналу на компоненти, де здійснюється поділ сигналу на тональні і шумові компоненти (рис. 1.5). Після чого, тональні компоненти поділяються на гармонійні і індивідуальні високого рівня [53]. Далі оцінюються значення поточних частот, фаз і амплітуд кожної з тональних компонент, а для шумових складових визначаються їх рівні енергії в певних смугах частот.

Значення параметрів тональних і шумових компонент сигналу порівнюються з психоакустичними параметрами і відображаються умовними вимірювальними приладами як відмінність між сигналом і артефактом, що може сприйматися людиною.



Рисунок 1.5 - Структура параметричного моделювання сигналу фонограми для оцінювання впливу артефакту на фонограму

Висновки за розділом 1

1. Доведено актуальність необхідності удосконалення процедури реставрації та відновлення аналогових фонограм. Необхідність проведення реставраційних та відновлювальних робіт для аналогових фонограм визначена:

- наявністю механічних пошкоджень та артефактів носіїв аналогових фонограм;
- погіршенням якісних показників фонограм в процесі тривалого зберігання;
- недосконалістю технологій створення аналогових фонограм на початкових етапах звукозапису;
- необхідністю перенесення аналогових фонограм у цифровий вид у зв'язку з широким поширенням цифрових технологій в звуковій індустрії;
- забезпеченням подальшого тривалого зберігання без втрати якості;
- зміною вимог слухачів до звучання фонограм.

2. Визначено задачі, що необхідно брати до уваги при виконанні реставраційних та відновлювальних робіт, зазначено визначення самого процесу РтаВФ та цілі проведення реставраційних робіт. Сутність процесу РтаВФ, в першу чергу, полягає у відновленні інформації з носія, що схильний до пошкоджень з подальшим записом на інший носій з відповідною якістю.

Як задачі, що повинні бути виконані в результаті проведення реставраційних та відновлювальних робіт для аналогових фонограм визначено такі:

- збереження цілісності інформаційної (змістовної) складової фонограм;
- видалення артефактів, визначених носієм та умовами зберігання аналогових фонограм;
- покращення якісних показників фонограм для застосування у сучасних мультимедійних додатках, телерадіомовленні тощо;
- покращення якісних показників сприйняття інформації з урахуванням суб'єктивних вимог;
- забезпечення якісних об'єктивних показників для подальшого зберігання на сучасних носіях інформації.

3. Враховуючи наявність великої кількості аналогових фонограм на різних

носіях, що потребують реставрації та відновлення за даними розділу запропоновано класифікацію звукових фонограм у цілому, відповідно якої звукові фонограми розділено на аналогові й цифрові і їх якість визначено носієм, а також методами та способами запису фонограм на носій.

Серед найпоширеніших аналогових фонограм, які потребують реставрації та відновлення, виділено магнітні фонограми у бобінах і касетах та механічні фонограми на грамплатівках. Серед цифрових фонограм найпоширенішими є фонограми на компакт-дисках та мультимедійні (файлові) фонограми.

Удосконалено класифікацію фонограм за ознакою інформаційної складової фонограми у урахуванням реставрації та відновлення і подальшого застосування, адже від перспектив застосування фонограми залежать види робіт, що будуть проводитись в процесі реставраційних робіт. Так фонограми можуть бути розподілені на фонограми для приватного прослуховування, розповсюдження через мережі Інтернет, застосування у ТРМ тощо.

4. Завдяки впровадженню класифікації фонограм і аналізу цілей використання реставрованої фонограми можна скоротити час виконання реставраційних і відновлювальних робіт з фонограмами внаслідок передбачення застосовуваних засобів відтворення фонограм, а також складання карти необхідних налаштувань для оброблення сигналів в процесі реставрації.

5. Для визначення якісних показників реставрованих фонограм в даному розділі проведено аналіз критеріїв якості звукових фонограм та визначені критерії оцінки якості звукових фонограм з урахуванням реставраційних та відновлювальних робіт. Для оцінки якості фонограм доцільно застосувати такі методи оцінки - метод суб'єктивної оцінки якості звучання фонограм, метод об'єктивної оцінки якості звучання, метод об'єктивної оцінки параметрів сигналу фонограм.

Основними критеріями для суб'єктивної оцінки якості звучання фонограм в процесі РтаВФ обґрунтовані такі:

- Просторове сприйняття.
- Прозорість та деталізація звучання.

- Музичний баланс.
- Спектральний (тональний) баланс (тембр, забарвлення звуку).
- Завади, помітність завад і вид шумів і завад:
 - структурний шум,
 - імпульсні завади – клацання,
 - взаємні завади фонограми - копірефект, вплив Л і П каналів один на одного.
- Обробка фонограми - художню якість обробки.
- Динамічний діапазон, рівномірність рівнів.
- Помітність спотворень.
- Звукорежисерська техніка (техніка реставрації і відновлення звуку).
- Стерефонічний ефект, відповідність Л і П каналів.
- Загальне враження.

6. Суб'єктивну оцінку якості звучання можна проводити в результаті експертизи як кваліфікованими фахівцями, так і пересічними слухачами.

Завдяки врахування специфічних критеріїв якості фонограми для реставраційних робіт можна спростити умови та покращити достовірність оцінювання якості самої фонограми.

В процесі виконання реставраційних та відновлювальних робіт зі звуковими фонограмами проводять оцінювання якості фонограм, застосовуючи суб'єктивні і об'єктивні методи. Суб'єктивний контроль якості виконують завжди звукорежисери-реставратори в оперативному режимі з використанням гучномовців, а також в неоперативному режимі після виконання РтаВФ стандартним методом експертиз.

Об'єктивний контроль якості фонограм також виконують в оперативному режимі звукорежисери-реставратори з використанням вбудованих в ПЗ звукових редакторів віртуальних вимірювальних приладів. Об'єктивний неоперативний контроль якості фонограм при РтаВФ виконують неінтрузивними методами.

Запропонована нова модель об'єктивного оцінювання якості фонограм для використання в реставраційних роботах з аналоговими фонограмами на різних

носіях, заснована на неінтрузивній моделі з параметричним моделюванням сигналу фонограми для оцінювання впливу артефакту на фонограму, дозволяє істотно скоротити часові і технічні ресурси, необхідні для проведення РтаВФ.

Модель побудована на порівнянні артефактів досліджуваної фонограми з банком артефактів, а також якісних показників досліджуваної фонограми з психоакустичними параметрами, і відображенні оцінки впливу артефактів на корисну інформаційну складову фонограми.

На основі викладених у роботі методів об'єктивного оцінювання якості фонограм деяких авторів, а також технології REAQ запропоновано удосконалений метод оперативного суб'єктивного контролю параметрів на основі експертної оцінки параметрів звукорежисером-реставратором.

2 ОСОБЛИВОСТІ ТА ПАРАМЕТРИ АНАЛОГОВИХ ФОНОГРАМ ТА АРТЕФАКТІВ НОСІЇВ

Для виконання якісної реставрації та відновлення аналогових фонограм важливим є аналіз особливостей носіїв звукової інформації, якісних параметрів сигналів, записаних на відповідний носій, та спотворень, що вносить відповідний носій, адже результат реставрації набагато залежить від носія. Оскільки параметри фонограм, крім характерних для відповідного принципу запису і виду носія, залежать від багатьох чинників, як, наприклад, швидкість руху носія в магнітному запису, група складності пристрою запису-відтворення тощо, при порівнянні будемо вказувати вимоги щодо конкретних пристроїв [58,92].

У процесі аналізу перевагу віддано параметрам тракту відтворення фонограм, адже задача, що вирішується - реставрація і відновлення передбачає, що фонограма вже була записана, при цьому будемо враховувати параметри і спотворення, що виникають під час запису.

Визначення особливостей найбільш поширених носіїв аналогового звукозапису може слугувати основою для вибору раціональних засобів і методів обробки при відновленні та реставрації записаної інформації, особливо, для створення системи автоматизованого розпізнавання типу носія і параметрів запису.

Пропоновані підхід до аналізу особливостей носіїв аналогових фонограм поширюються на всі види носіїв аудіофрагментів, що підлягають відновленню, в першу чергу, носіїв механічного, магнітного і фотографічного звукозапису фонограм [64].

2.1 Особливості механічних фонограм

Механічна фонограма – це фонограма записана, або відштампована на грамплатівці і передбачає механічне зчитування інформації за рахунок коливання голки звукознімача [60].

Для грамплатівки характерно поява механічних пошкоджень звукової канавки при багаторазовому відтворенні, яке проявляється у вигляді помітних спотворень, появи поперечних подряпин, запиленості поверхні в процесі неправильного зберігання і утримання пластинки, що виявляється як шум у вигляді «піску», клацань і потріскувань [25,32].

Основним типом носія (найбільш популярним і масовим, яких досить багато і вони, у більшості, вимагають масової реставрації) механічного запису зазвичай вважають грамплатівку із стереофонічним записом (поперечно-поперечна, «X») з діаметром диска 300 мм і частотою обертання 33 і 1/3 об./хв. Параметри каналу запису-відтворення електропрогравального пристрою (ЕПП) відповідають 0 групі складності.

Необхідно підкреслити принципову причину погіршення якості фонограми, пов'язану з наявністю механічного контакту голки звукознімача з грамплатівкою. При цьому кількість прослуховувань впливає на ступінь погіршення якісних показників аудіофрагмента.

У табл. 2.1 дано опис особливостей пристроїв аналогового механічного запису-відтворення звукових фонограм на грамплатівках, узагальнені характерні особливості пристроїв механічного запису-відтворення аналогових фонограм, що впливають на якісні показники [61].

У табл. 2.2 наведені параметри аналогового механічного запису звукових сигналів на грамплатівці.

Для механічного запису серед інших параметрів важливе значення має ефективна маса звукознімача, яка зазвичай дорівнює 2 г. Притискна сила, гнучкість і ефективна маса рухомої системи визначають ще одне нове поняття: здатність проходження голки по канавці. Цей параметр для споживача має велике значення. Він показує максимальне відхилення канавки на даній частоті, яке звукознімач здатний програти без спотворень при заданій притискній силі. Виміряти масу звукознімача і здатність проходження голки по канавці з необхідною точністю досить важко [62].

Таблиця 2.1 - Особливості пристроїв запису-відтворення на грамплатівку

№ п.п.	Елементи і вузли пристроїв запису-відтворення аналогових фонограм	Механічний запис
1	Принцип формування сигналу запису	Вирізання різцем рекордера на носії запису, що обертається, який має форму диска, відповідної форми звивистої (модульованої) канавки. Різець механічно коливається під впливом електричного сигналу, який повторює коливання звукового сигналу запису.
2	Принцип формування сигналу відтворення	Грамофонна платівка обертається з тією ж частотою, як і диск при запису. Зафіксована у вигляді канавки звукова інформація «зчитується» голкою звукознімача. Коливання голки перетворюються в електричні сигнали звукової частоти.
3	Механізм пересування носія	Механізм обертання диска з постійною швидкістю обертів
4	Механізм пересування перетворювача запису	Механізм примусового пересування різця запису від краю платівки до центру.
5	Механізм пересування перетворювача відтворення	Механізм пересування звукознімача від краю платівки до центру за рахунок взаємодії певних сил, що виникають між канавкою платівки і голкою звукознімача під час програвання.
6	Формування (перетворювач) сигналу запису і принцип нанесення інформації на носій	Різець зі сталі або сапфіру з певною формою вістря нарізає канавку або створює канавку оплавленням.
7	Формування (перетворювач) зчитування сигналу	Звукознімач, до складу якого входить головка звукознімача і тонарм певної форми. Головка перетворює механічні коливання голки в електричні сигнали. Тонарм підтримує і спрямовує головку з урахуванням сил, що діють на головку. Матеріал голки - корунд або алмаз.
8	Необхідність попередньої обробки носія	Ні, крім технологічних вимог (абсолютно гладка поверхня диска, відсутність пилу тощо).
9	Специфіка запису-відтворення	Використання ВЧ-передспотворень при запису (тонкорекція) і зворотне перетворення АЧХ при відтворенні (ГОСТ 7893-79, ІЕС 98 (3180-318-75 мкс).
10	Можливість перезапису на одному і тому ж носії	Не передбачено.
11	Носій запису	Вінілітова грамплатівка з досить однорідною і дрібнозернистою структурою.

Таблиця 2.2 - Типові значення параметрів механічного запису на грамплатівці [63]

№ п/п	Найменування параметру	Значення параметру
1.	Робочий діапазон частот, Гц, не вужче	20 ... 20000
2.	Нерівномірність (припустимі відхилення) АЧХ від номінальної, дБ, не більше, в діапазоні частот, Гц: 50-12500/20-50 і 12500-16000/16000-20000	+1,5/-3...+1,5/-6...+1,5
3.	Чутливість з електромагнітної головки без коригуючого підсилювача, мВ/см/с	0,7 ... 2,0
4.	Швидкість (частота) руху носія, об/хв	33,1/3
5.	Відхилення швидкості (частоти) від номінального значення, %	+/- 0,5
6.	Коефіцієнт детонації запису (відтворення), %	+/- 0,04 (0,08)
7.	Відносний рівень рокоту, дБ, без зваженого фільтра (із зваженим фільтром)	-45 (-69)
8.	Відносний рівень завад каналу запису, дБ	-63
9.	Відносний рівень завад каналу відтворення, дБ	-40
10.	Відносний рівень завад немодульованих «німих» канавок, дБ	-68
11.	Відношення сигнал-рокіт (рівень завад від власних вібрацій), дБ	70
12.	Відношення сигнал-фон без вбудованого коректора (рівень фону), дБ	70
13.	Відношення сигнал/шум, не менше, дБ	52...55
14.	Динамічний діапазон, дБ	36
15.	Коефіцієнт гармонік, %, не більше, на частотах, Гц: 30-60/60-8000/більше 8000	1,5/3/3
16.	Перехідне загасання між стереофонічними каналами під час запису, дБ, на частотах, Гц: 20-200/250...8000/8000...12500/12500...20000	30/40/30/15
17.	Перехідне загасання між стереофонічними каналами ЕПП, дБ, на частотах, Гц, відповідно: 315/500/1000/10000	20/25/20/15
18.	Розбаланс (неузгодженість) стереоканалів за рівнем запису на частоті 1000 Гц, не більше, дБ	1
19.	Розбаланс (неузгодженість) чутливості стереоканалів звукознімача за рівнем запису на частоті 1000 Гц, не більше, дБ	1
20.	Неузгодженість частотних характеристик стереофонічних каналів під час запису, дБ, не більше, в діапазоні частот, Гц: 20...5000/5000...20000	1/2

Продовження табл.2.2

№ п/п	Найменування параметру	Значення параметру
21.	Неузгодженість частотних характеристик стереофонічних каналів звукознімача, дБ, не більше, в діапазоні частот, Гц: 315...6300	2
22.	Притискна сила для електромагнітної головки, мН	15
23.	Амплітуда коливальної швидкості механічного запису на частоті 1000 Гц, при якій забезпечується здатність проходження відтворювальною голкою по канавці, см/с	25
24.	Частота основного (механічного) резонансу головки, Гц	не менше 6, не більше 12
25.	Добротність основного резонансу тонарму	3
26.	Спектр шуму носія, Гц	300...8000
27.	Ексцентриситет центрального отвору диска, мм	0,15
28.	Викривлення платівки, мм, не більше	1,5
29.	Термін зберігання в оптимальних умовах, років	умовно необмежений
30.	Кількість програвань (до появи неприпустимо високого рівня шуму)	100...300 (в залежності від пило/волого захищеності)
31.	Час запису на одній стороні, хв.	20...30

На основі аналізу таблиць визначені характерні особливості фонограм, властиві механічному запису, які є основними чинниками, що формують якісні показники відновлених/реставрованих аудіофрагментів, вони зазначені за ступенем трудомісткості ослаблення впливу [27,31,59]:

- наявність імпульсних завад у вигляді клацань за рахунок глибоких одиночних подряпин, повторюваних з частотою 33 і 1/3 раз за хвилину;
- наявність імпульсних завад у вигляді потріскувань, викликаних електризацією матеріалу платівки;
- наявність плавання звуку за рахунок деформації платівки по периметру;
- наявність характерного шуму в вигляді «піску» за рахунок частих дрібних подряпин або зміни структури матеріалу платівки, а також запиленості канавок;
- наявність завад, викликаних недостатнім екрануванням звукознімача, тонарму, проводів, попереднього підсилювача-коректора;

- наявність характерного шуму (фону) для абсолютно нової платівки за рахунок структури матеріалу платівки;
- помітне перехідне загасання між стереофонічними каналами на різних частотах;
- наявність характерних завад від власних вібрацій;
- наявність спотворень, викликаних декомпенсацією антискачувальної сили, що виявляється у різних значеннях рівнів сигналів стереоканалів;
- наявність спотворень, які збільшуються зі зменшенням діаметра диска;
- наявність спотворень, викликаних нелінійністю електромеханічного перетворення;
- наявність спотворень огинання, що виникають внаслідок геометричних відмінностей між різцем рекордера при запису і голкою звукознімача при відтворенні;
- наявність спотворень, викликаних неправильною вагою звукознімача і, відповідно, притискною силою, гнучкістю голки.

2.2 Особливості магнітних фонограм

Магнітні фонограми, тобто, фонограми, носієм для яких є магнітна плівка, найбільш чутливі до умов зберігання і втрачають свої властивості як за рахунок пошкоджень самого носія, так і за рахунок появи специфічних спотворень і завад у записаній інформації [65].

Серед особливостей магнітного запису і наявності відповідних артефактів зазначаються: наявність шуму стрічки як постійного «шипіння», прояв ефекту саморозмагнічування, копірефект, механічне руйнування магнітного шару стрічки і механічне пошкодження основи стрічки, що виявляється у вигляді спотворень, випадінь, плавання звуку тощо.

Для магнітного запису будемо аналізувати студійну фонограму на носії у вигляді магнітної стрічки в рулоні, тривалістю 45 хв, із стереофонічним записом на всю ширину стрічки, зроблену на студійному магнітофоні при швидкості

38,1 см/с. Канал запису-відтворення відповідає параметрам студійного запису або 0 групи складності побутової записи.

У процесі аналізу перевагу будемо віддавати параметрам відтворення фонограм з урахуванням мети і завдання реставрації і відновлення, звичайно, обумовлюючи параметри й спотворення, що виникають під час запису.

У табл. 2.3 наведено характерні особливості магнітного запису-відтворення фонограм, що впливають на якісні показники [67,68].

Для коректної реставрації і відновлення фонограм на магнітній стрічці необхідно враховувати діапазон параметрів пристроїв аналогового запису звукових сигналів на різних типах магнітного носія, як катушкового виконання, так і касетного. У табл. 2.4 узагальнені значення параметрів магнітного запису і носія [66,69].

Таблиця 2.3 - Особливості аналогового магнітного запису-відтворення звукових фонограм на магнітній стрічці

№ п.п.	Елементи і вузли пристроїв запису-відтворення аналогових фонограм	Магнітний запис
1	Принцип формування сигналу запису	Створення залишкової намагніченості в звуконосії у вигляді магнітної стрічки, що рухається з постійною швидкістю повз записувальну головку. Головка запису створює магнітне поле відповідно до форми звукового сигналу запису. В процесі магнітного запису відбувається перетворення змін амплітуди сигналу в зміни намагніченості носія, а часові зміни перетворюються у відстань на стрічці між ділянками намагніченості.
2	Принцип формування сигналу відтворення	Зворотне перетворення залишкової намагніченості стрічки в магнітний потік у осерді відтворювальної головки і поява ЕРС в обмотці головки, відповідно до записаного звуку. Стрічку переміщують з тією ж швидкістю, що і під час запису.
3	Механізм пересування носія	Стрічкопротягувальний механізм з постійною лінійною швидкістю переміщення магнітної стрічки щодо магнітних головок. Забезпечує також необхідне натягнення стрічки, притискання до головки і прискорене перемотування стрічки.

Продовження табл. 2.3

№ п.п.	Елементи і вузли пристроїв запису-відтворення аналогових фонограм	Магнітний запис
4	Механізм пересування перетворювача запису	Головка запису нерухома
5	Механізм пересування перетворювача відтворення	Головка відтворення нерухома
6	Формування (перетворювач) сигналу запису і принцип нанесення інформації на носій	Магнітна головка запису у вигляді кільцевого осердя з магнітом'якого феромагнітного матеріалу з немагнітним зазором. У зазорі створюється змінне магнітне поле, пропорційне зміні струму звукового сигналу, що створює залишкову намагніченість в магнітному носії
7	Формування (перетворювач) зчитування сигналу	Магнітна головка відтворення у вигляді кільцевого осердя з магнітом'якого феромагнітного матеріалу з немагнітним зазором. У зазорі зміна намагніченості робочого магнітного шару стрічки, що рухається повз головку, перетворюється в коливання струму звукової частоти.
8	Необхідність попередньої обробки носія	Так. Попереднє стирання раніше записаних фонограм за допомогою головки стирання; наявність ВЧП при запису.
9	Специфіка запису-відтворення	Використання ВЧ-передспотворень при запису, ВЧ корекція при відтворенні. Введення ВЧП для лінеаризації характеристики намагнічування.
10	Можливість перезапису на одному і тому ж носії	Передбачено.
11	Носій запису	Магнітна стрічка - основа з поліетилентерефталату, магнітний шар у вигляді лаку, приготованого на основі порошку магнітотвердого феромагнетика (гамма-окис заліза, ферит кобальту, двоокис хрому, чистого заліза).

Характерними особливостями аналогових магнітних фонограм, що впливають на процедуру їх реставрації та відновлення є наявність [70]:

- стабільного рівномірного шуму в вигляді "шипіння", по всій довжині стрічки, що визначається технологією нанесення магнітного шару, особливо виявляється в паузах;

Таблиця 2.4 - Параметри аналогового запису звукових сигналів на магнітному носії

№ п/п	Найменування параметру	Магнітний запис
1.	Робочий діапазон частот, Гц, не вужче	31,5...22000
2.	Відносна АЧХ стрічки, дБ	0,5+/-1, реальна 2+/-1,5
3.	Відносна чутливість магнітної стрічки, дБ	3,5+/-1
4.	Нерівномірність чутливості стрічки, дБ, на частотах 400/1000/10000 Гц	+/-0,5+/- 0,5...1+/-1,5
5.	Номінальний залишковий магнітний потік, нВб/м, на частоті 1000 Гц для стереомагнітофонів	510
6.	Швидкість (частота) руху носія, см/с	38,1
7.	Відхилення швидкості (частоти) від номінального значення, %	+/- 0,3
8.	Дрейф швидкості, %, не більше	+/- 0,015 для магнітофонів з САР за натягом
9.	Коефіцієнт детонації запису (відтворення), %	+/- 0,04 (0,1)
10.	Відносний рівень паразитної напруги у каналі запису-відтворення, дБ, не більше	-52
11.	Відносний рівень завад каналу запису, дБ	-62 (-60)
12.	Відносний рівень завад каналу відтворення, дБ	-66
13.	Відносний рівень стирання, дБ	-75
14.	Відношення рівень шуму намагніченої стрічки, дБ	-40...-45
15.	Рівень шуму паузи, дБ	-54...-60
16.	Рівень копірефекту, дБ	-52...-56
17.	Коефіцієнт гармонік, %, не більше, на частотах, Гц: 30-60/60-8000/більше 8000	1...2/1,5/1
18.	Перехідне загасання між стереофонічними каналами під час запису, дБ, на частотах, Гц: 80/1000/8000	-20/-35/-30
19.	Коефіцієнт різницевого тону другого порядку у каналі запису-відтворення, %, не більше	1
20.	Викривлення стрічки, мм, не більше	0,01...0,015
21.	Шабельність стрічки, мм/м	1...4
22.	Відносне подовження стрічки під навантаженням 10 Н (після зняття навантаження)	0,6...1,3 (0,02...0,1)
23.	Термін зберігання в оптимальних умовах, років	25...30
24.	Кількість програвань (до появи неприпустимо високого рівня шуму)	100
25.	Час запису на одній стороні, хв.	45

- окремих імпульсних завад у вигляді клацань, викликаних комутаційними

завадами в моменти включення/вимикання режиму запису (можуть проявлятися на початку всієї фонограми і в її кінці, а також на початку і в кінці фрагментів фонограми);

- плавання звуку за рахунок нестабільності руху магнітної стрічки, періодичної зміни швидкості руху носія, що виявляється як детонація;
- характерного модуляційного шуму, особливо на верхніх частотах, що визначається паразитною амплітудною модуляцією за рахунок неконтакту між носієм і осердям головки, і флуктуацією перекосів стрічки;
- характерного модуляційного шуму, особливо на верхніх частотах, що визначається неоднорідністю частинок магнітного порошку і нерівномірністю їх розподілу в робочому шарі стрічки, непостійність товщини робочого шару по довжині - структурний шум (-55...-65 дБ). Рівень структурного шуму пропорційний намагніченості стрічки. Записаний сигнал модульований по амплітуді шумом, коефіцієнт модуляції не залежить від величини сигналу. Модуляційний шум має місце при наявності сигналу і його рівень може досягати значень -26...-30 дБ для стрічки, намагніченої до насичення;
- шарових втрат, викликаних зменшенням намагнічування глибинних шарів носія, віддалених від осердя;
- шуму паузи (-45...-55 дБ);
- завад, викликаних недостатнім екрануванням магнітної головки;
- характерного шуму, спричиненого параметрами ГСП, тобто частотою стирання і підмагнічування;
- нерівномірності АЧХ запису через неоднорідність (нестабільність) товщини магнітного шару, неконтакту, перекосу зазору;
- уповільнення швидкості до кінця рулону (дрейф швидкості);
- копірефекту стрічки в рулоні, залежить від товщини стрічки і рівня запису (-55 дБ);
- нелінійних спотворень, викликаних нелінійністю кривої намагнічування і неправильним (не оптимальним) значенням ВЧП;
- хвильових втрат за рахунок самотирання, саморозмагнічування;

- щільних спотворень за рахунок кінцевої ширини робочого зазору головки відтворення, непаралельності зазорів головки запису і головки відтворення (відносний перекис зазорів), відносного збільшення зазору в процесі стирання робочої зони головки;

- залежності коефіцієнта передачі наскрізного каналу запису-відтворення від частоти. Це виражається підйомом АЧХ на НЧ і СЧ з крутизною 6 дБ/октава, тому що головка відтворення реагує на швидкість зміни магнітного потоку фонограми, тобто ЕРС пропорційна частоті. На ВЧ крутизна зменшується, а потім АЧХ має спад, що зумовлено розмірами і магнітними властивостями головок і стрічок, розташуванням носія щодо головок;

- адитивних завад, викликаних перехідними завадами через вплив полів сусідніх доріжок запису, зовнішніми завадами через вплив полів розсіювання електродвигунів і трансформаторів, власними завадами підсилювачів;

- збільшення нелінійних спотворень носія запису на НЧ;

- збільшення нелінійних спотворень внаслідок насичення осердя головки запису при занадто великому струмі запису;

- випадкових випадінь через неконтакт, осипання магнітного шару, наявності грудочок магнітного шару, порошинок між головкою і стрічкою.

2.3 Особливості фотографічних фонограм

Для фотографічних фонограм характерно вузький діапазон частот, клацання за рахунок подряпин фотоемульсії, специфічний шум паузи у вигляді постійного струму, плавання або «дроблення» звуку через неточності заправлення плівки [71, 86].

Фотографічну фонограму будемо розглядати як стереофонічну для плівки шириною 35 мм, запис змінної ширини, швидкість руху носія 24 кадрів/с.

Елементами, що впливають на якісні показники запису-відтворення звуку на фотографічній плівці, є:

- 1) тип плівки і вид звуковий фонограми,

- 2) механізм пересування плівки,
- 3) принцип копіювання,
- 4) принцип зчитування фонограм,
- 5) розміри штрихів пишучого і читаючого,
- 6) світлотехнічні параметри звукової лампи.

У табл. 2.5 дано опис особливостей аналогового фотографічного запису-відтворення звукових фонограм на фотоплівці, узагальнені характерні особливості пристроїв фотографічного запису-відтворення аналогових фонограм, що впливають на якісні показники [33]. У табл. 2.6 наведені параметри аналогового запису звукових сигналів на фотографічному носії у цілому.

Характерними особливостями аналогових фотографічних фонограм, що впливають на процедуру їх реставрації та відновлення є такі:

- залежність частотного діапазону від ширини пишучого і читаючого штрихів;
- залежність частотного діапазону від роздільної здатності плівки;
- залежність параметрів звуковідтворення від світлотехнічних параметрів зчитувальної системи;
- залежність параметрів звуковідтворення від технології фотографічних процесів і світлокопіювання фонограм, при контактному друку через взаємне проковзування негативу фонограми і позитивної кіноплівки, що мають різну ступінь усадки, від фотографічної емульсії, розкиду технологічних елементів процесу фотохімічної обробки тощо;
- наявність завад, що визначаються зернистістю фотографічної емульсії;
- наявність завад, що визначаються ушкодженнями поверхонь фільмокопії, подряпинами і брудом, що зменшує відношення сигнал/завада до 33...35 дБ;
- наявність щілинних завад, що виникають внаслідок кінцевої ширини читаючого штриха. У результаті усереднюються (інтегруються) швидкі зміни світлового потоку фонограми, відповідні високим частотам запису;
- наявність спотворень, викликаних непаралельністю пишучого і читаючого штрихів, що еквівалентно розширенню читаючого штриха. Спад АЧХ на верхніх

частотах, обумовлений непаралельністю штрихів, визначає коефіцієнт перекосу;

Таблиця 2.5 - Опис особливостей аналогового запису-відтворення звукових фонограм на фотографічному носії запису

№ п.п.	Елементи і вузли пристроїв запису-відтворення аналогових фонограм	Фотографічний запис
1	Принцип формування сигналу запису	Вплив світлового потоку на світлочутливий шар носія запису - кіноплівки. Фотохімічна обробка, копіювання та отримання оптичної фонограми змінної ширини.
2	Принцип формування сигналу відтворення	Формування електричного сигналу фотоелементом при модуляції світлового потоку фонограмою. Джерело світла - читаюча лампа - створює через оптичну систему в площині позитивної фонограми вузький читаючий штрих.
3	Механізм пересування носія	Механізм переміщення кіноплівки з постійною лінійною швидкістю щодо пишучого або читаючого штриха.
4	Механізм пересування перетворювача запису	Модулятор світла нерухомий.
5	Механізм пересування перетворювача відтворення	Читаюча лампа, читаючий штрих і фотоелемент нерухомі.
6	Формування (перетворювач) сигналу запису і принцип нанесення інформації на носій	Модулятор світла електромеханічного типу з пишучим штрихом і оптичною системою формує засвічення ділянки плівки певної ширини. Ширина засвічення визначається частотою і рівнем звукового сигналу.
7	Формування (перетворювач) зчитування сигналу	Читаюча лампа з оптичною системою, що створює вузький читає штрих в площині кіноплівки.
8	Необхідність попередньої обробки носія	Ні, крім технологічних вимог (захищеність від засвічення, відсутність пилу і ін.)
9	Специфіка запису-відтворення	Запис може бути з формуванням фонограми змінної ширини і змінної густини. Залежно від конструкції модулятора світла фонограма виходить односторонньою, двосторонньою (симетричною) і навіть з кількома однаковими доріжками.
10	Можливість перезапису на одному і тому ж носії	Немає.
11	Носій запису	Позитивна фотографічна плівка.

Таблиця 2.6 - Параметри аналогового запису звукових сигналів на фотографічному носії

№ п/п	Найменування параметру	Фотографічний запис
1.	Робочий діапазон частот, Гц, не вужче	30...9000
2.	Нерівномірність (припустимі відхилення) АЧХ від номінальної, дБ, не більше в діапазоні частот 30 ... 60 Гц 3000 ... 8000 Гц більше 9000 Гц	-12...-6 -4 -15
3.	Коефіцієнт пропускання прозорої частини плівки	0,83
4.	Коефіцієнт пропускання темної частини плівки	0,03
5.	Середня площа зерна плівки, не більше, мм ²	4×10^{-6}
6.	Роздільна здатність фотоемульсії, лін/мм, не менше	80...100
7.	Швидкість (частота) руху носія, мм/с	456
8.	Відношення сигнал/шум, не менше, дБ	33...35 (з ШЗ – 43)
9.	Динамічний діапазон, дБ	35...40
10.	Коефіцієнт гармонік, %, не більше,	0,45...0,85
11.	Перехідне загасання між стереофонічними каналами під час запису, дБ, на частотах, Гц: 80/1000/8000	-20/-35/-30
12.	Ширина пишучого штриха, мкм	5
13.	Освітленість пишучого штриха, лк	10
14.	Корисний світловий потік звукозчитувальної системи, лм, не менше	0,01...0,02
15.	Рівномірність освітленості вздовж читаючого штриха, не менше	0,6...0,65
16.	Ширина читаючого штриха, мкм	20
17.	Припустима непаралельність читаючого штриха напрямку руху фонограми – базовому краю фільму, не більше	$0,08^\circ = 4,8'$
18.	Нерівномірність фотоелектричної віддачі, дБ	4
19.	Коефіцієнт модуляції фонограми	0,9
20.	Коефіцієнт щілинних втрат (у дБ)	0,7 (-3)
21.	Термін зберігання в оптимальних умовах, років	умовно не обмежений

- наявність спотворень запливання, обумовлених появою на кордонах доріжки запису фотографічної фонограми змінної ширини зон з перехідною оптичною густиною навколо різких кордонів доріжки, яка в ідеальному випадку повинна являти собою штрихове, а не напівтоноване зображення. Поява таких зон

викликана світлорозсіюванням всередині товщі шару емульсії. Запливання призводить до появи гармонічних спотворень і зниження якості звуку. Запливання проявляється тим сильніше, чим менше довжина хвилі запису, і призводить, як і щільніні спотворення, до погіршення передачі високочастотних складових, а також до появи парних гармонік. Для зменшення ефектів, пов'язаних з запливанням використовують компенсаційний режим запису і копіювання фотографічної фонограми, який передбачає внесення передспотворень до записаного сигналу і оптимізацію режимів копіювання і фотографічної обробки. Крім того, підбирають оптимальну компенсаційну густину доріжки фонограми, що знижує спотворення при відтворенні. Спотворення запливанням негативної фонограми в деякій мірі компенсують при друку позитивної фонограми. Спотворення запливанням значно зменшують при використанні багатоканальних фонограми;

- наявність спотворень, викликаних неточним фокусуванням світлового променя, при цьому в площині фонограми не утворюється чітко окресленого штриха, що рівносильно розширенню штриха;

- наявність спотворень, викликаних нерівномірністю освітленості по довжині штриха, що призводить до нелінійних спотворень;

- наявність спотворень, викликаних відхиленням відстані від горизонтальної осі кадрового вікна до місця розташування читаючого штриха (по довжині, зарядженої на цій ділянці фільмокопії) має бути $20 \pm 0,5$ кадру для 35-мм плівки і $19 \pm 0,5$ кадру для 70/35 плівок. Відхилення відстані до читаючого штриха (по довжині фільмокопії) від середини кадрового вікна більш ніж 0,5 кадру спричиняє спотворення синхронності між зображенням і звуковим супроводом;

- поява спотворень через неправильне положення читаючого штриха по його довжині, тобто зміщення штриха в сторону кадрів або в сторону перфорації викликає спотворення, тому що при цьому зменшується ефективна ширина фонограми, і, відповідно зменшується рівень сигналу і динамічний діапазон;

- поява спотворень через зменшення або збільшення довжини штриха призводить до зменшення рівня або зчитування перфорації і кадрових смуг,

відповідно;

- поява спотворень через неперпендикулярність читаючого штриха напрямку руху фонограми - базового краю фільму.

При значних зсувах штриха можуть виникнути нелінійні спотворення внаслідок зрізання верхівки сигналу для змінної ширини. Змінюється форма складних сигналів і їх спектральний склад. При значному зміщенні в бік перфорації може з'явитися імпульсний звук з частотою 96 Гц, в іншу сторону до кадрів - схожий звук з частотою 24 Гц (зчитування міжкадрових смуг).

Зменшення довжини штриха - причина зменшення ефективної ширини фонограми, що призводить до зниження рівня звуковідтворення, звуження динамічного діапазону, збільшення нелінійних спотворень. Нелінійні спотворення будуть більш істотними, ніж при зміщенні штриха в сторону перфорацій або кадрів, тому що виникають при такому зміщенні завади, що значно перевершують рівень основного сигналу, маскуючи і його (сигнал) і додаткові спотворення, що виникають. У разі ж зменшення довжини штриха завади не збільшуються, маскувальний ефект не має місця і нелінійні спотворення, що виникли, стають явно відчутними. Зміна ширини читаючого штриха також призводить до спотворень.

З одного боку, з точки зору отримання більшої віддачі фотоприймача бажано, щоб ширина читаючого штриха була якомога більшою. Але, з іншого боку, збільшення ширини читаючого штриха погіршує передачу коливань високих частот - викликає зростання частотних спотворень. Чим більше ширина штриха, тим менше стає віддача фонограми при збільшенні частоти записаного на ній сигналу. Якщо ширина штриха буде дорівнює довжині хвилі запису, величина світлового потоку, що проходить через фонограму змінюватися не буде, віддача впаде до нуля.

2.4 Класифікація артефактів звукових фонограм залежно від носія

Серед аналогових фонограм, в першу чергу, розрізняють механічні, фотографічні та магнітні фонограми (рис. 1.1).

В процесі запису-відтворення фонограм, тривалого зберігання, зокрема, залежно від умов зберігання фонограми, всі фонограми втрачають свої первинні властивості. В результаті погіршуються якісні показники інформації, що є основою фонограми. Сам принцип запису на відповідний носій, умови запису, а ще й історичний період часу запису, вже вносять деякі спотворення у записувану інформацію. Структура носія, його фізико-хімічні властивості, а також зміни властивостей носія в процесі зберігання додають свої спотворення у записувану інформацію. Всі активні зміни структури носія, спотворення самої інформації будемо називати артефактами фонограми.

Визначимося з артефактами, що можуть бути присутніми у звукових фонограмах, враховуючи відповідний носій і принцип запису фонограми [4].

Елементами, що впливають на якісні показники будь-якої фонограми і які можуть вносити відповідні артефакти є:

- 1) механізм транспортування носія, адже всі аналогові фонограми передбачають переміщення носія відносно зчитувального елемента;
- 2) принцип запису-зчитування фонограми, що враховує фізико-хімічні властивості залежно від носія, а це або механічні, або магнітні, або фотографічні властивості;
- 3) параметри й конструкція перетворювача сигналу – звукознімач механічних фонограм, магнітна головка магнітних фонограм, оптичний блок фотографічних фонограм;
- 4) сам носій, як елемент зберігання інформації.

В першу чергу визначимо артефакти, зумовлені носієм інформації. На рис. 2.1 наведена класифікація основних артефактів, що виявляються для відповідного носія. Специфіка кожного виду носія аналогової фонограми вносить свої характерні спотворення й шуми в записуваний сигнал, кожний носій має свій

термін придатності до відтворення.

Механічний звукозапис на грамплатівках не вимагав спеціальних умов зберігання носія, але в результаті відтворення піддавався частковому зношенню, що призводило до появи механічних пошкоджень звукової доріжки і появи специфічних спотворень. Для грамплатівок характерно наявність структурного шуму носія, імпульсних завад у вигляді клацань, зумовленими подряпинами, плавання звуку за рахунок деформації платівки тощо. Механіка обертання платівки додавала вібраційні шуми рухомих елементів [5].

Якщо розглядати механічний запис звуку, відновлення вимагав сам носій, а потім вже інформація на ньому. Тому часто під відновленням звукової інформації в цьому випадку розуміється реставрація носія запису.

Магнітний запис фонограм передбачав запис на магнітну стрічку, що розміщувалась в рулонах, бобінах, касетах у вигляді спіралі із щільним розміщенням витків один до одного. Це призводило до появи специфічних артефактів під час зберігання магнітних фонограм як то – копірефект, часткове розмагнічування й перемагнічування близько розташованого витка стрічки, саморозмагнічування тощо. Магнітна стрічка вимагала особливих умов зберігання, разом з неодноразовим перемотуванням. Для магнітної стрічки характерно структурний широкосмуговий шум магнітного шару, модуляційний шум, імпульсні завади перехідних процесів тощо.

Для магнітного запису носій, в якому з'явилися артефакти внаслідок недбалого зберігання, відновленню практично не підлягав. Деформовану плівку або магнітний шар, що обсіпався відновити неможливо. Відновлення вимагає сама інформація, записана на стрічку. Враховуючи, що магнітний запис був доступний широким масам споживачів і володів можливістю неодноразового перезапису фонограм на апаратурі, з не досить досконалими параметрами, умовами обслуговування тощо, на магнітних фонограмах створювались артефакти викликані саме недосконалістю самого процесу формування сигналу запису-перезапису фонограми. У подібній ситуації відновлення звукової інформації необхідно, однак реставрації фонограми не потрібно [10].

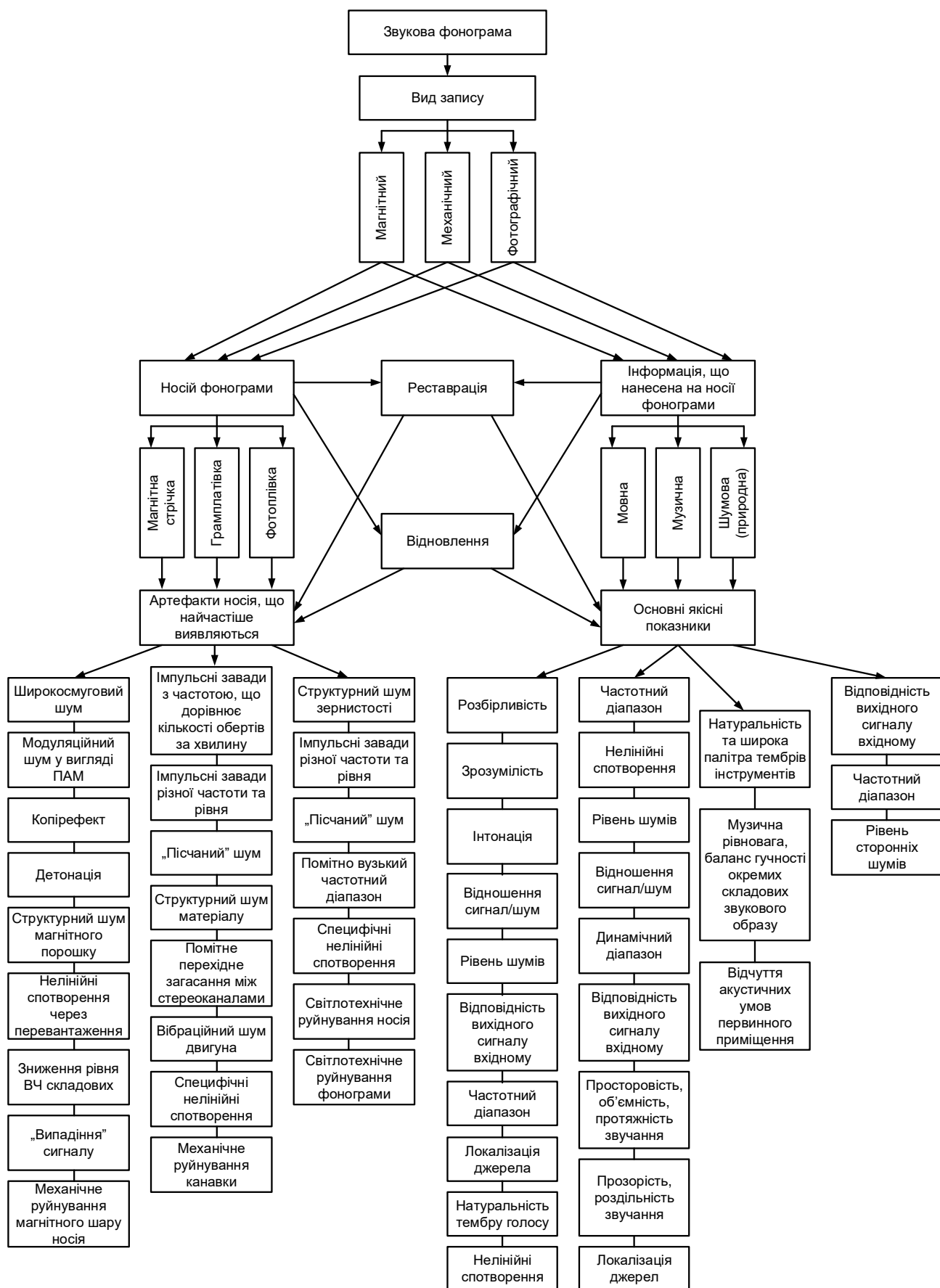


Рисунок 2.1 - Класифікація артефактів залежно від носія звукової фонограми, види і якісні показники інформації, записаної на носій

Фотографічний запис фонограм не отримав масового застосування і використовувався лише у кіноіндустрії. Для фотографічного запису характерні спотворення, викликані недосконалою фотохімічною обробкою фотоплівки, подряпини плівки за рахунок механічних пошкоджень в процесі транспортування плівки, специфічний шум паузи у вигляді постійного струму тощо.

Зрозуміло, що не всі артефакти аналогових фонограм можуть бути виправлені в процесі реставрації та відновлення. Цифрові технології реставрації фонограм дозволяють з деякою наближеністю усунути такі артефакти фонограм, як клацання, шум і свист, гуркіт, періодичні зміни висоти тону («завивання»), плавання і пропадань звуку, перемодуляція (нелінійні спотворення), порушення тембрального забарвлення, випадкові зміни гучності [5,18].

Однак, цифрові технології і носії цифрових фонограм не дають високої гарантії тривалого зберігання. Цифровий магнітний запис схильний до механічного пошкодження фонограми, випадіння магнітного шару тощо, що призведе до повної втрати частини інформації. Для компакт-дисків можливе відшаровування відбивного шару і відновити інформацію буде неможливо.

Як інформація, що записана на носій, може бути розглянута мовна, музична та шумова інформація (рис. 2.1).

Для кожного виду інформації характерні свої специфічні показники якості, які необхідно враховувати при проведенні реставрації та відновлення фонограми.

Так для мови важлива розбірливість, зрозумілість, інтонація виконавця, натуральність тембру голосу тощо.

Для музики важливо роздільність, просторовість звучання, цілісність і тембральне забарвлення звукового образу тощо.

Висновки за розділом 2

1. На підставі визначених особливостей аналогових фонограм – механічної, магнітної та фотографічної, зазначені типові носії фонограм, наведені узагальнені технічні параметри механічного, магнітного та фотографічного запису та визначені основні артефакти, що присутні для відповідної фонограми.

Знання особливостей формування відповідних фонограм та можливі технічні показники створюють більш сприятливі умови до виконання реставраційних і відновлювальних робіт з фонограмами.

2. Враховуючи особливості аналогових фонограм запропонована класифікація артефактів фонограм залежно від носія і інформації, що записана на носій, адже це теж впливає на виконання реставраційних і відновлювальних робіт з фонограмами.

3. Відповідно проведеному аналізу аналогових фонограм визначені основні елементи, що впливають на якісні показники фонограми і на подальшу РтаВФ внаслідок наявності відповідних артефактів. Такими елементами є:

- механізм транспортування носія;
- принцип запису-зчитування фонограми;
- параметри й конструкція перетворювача сигналу;
- сам носія, як елемент зберігання інформації.

4. Визначено артефакти, що формуються принципом запису сигналу та самим носієм інформації, а також зазначені якісні характеристики інформації, що заноситься на носій. В інформаційній складовій фонограми виділено музичні, розмовні та природні шумові сигнали.

Серед основних артефактів, що характерні для носіїв, зазначені такі:

- шуми різного походження;
- імпульсні завади;
- механічні пошкодження;
- специфічні лінійні та нелінійні спотворення;
- спотворення за рахунок переміщення носія.

Серед основних показників якості інформаційної складової фонограми зазначені такі:

- частотний діапазон та нерівномірність частотної характеристики;
- нелінійні спотворення;
- відношення сигнал/шум;
- динамічний діапазон;

- специфічні параметри.

5 Завдяки запропонованому ранжуванню класифікаційних ознак артефактів аналогових фонограм можна скоротити час виконання реставраційних і відновлювальних робіт з фонограмами внаслідок виключення перебору відомих методів реставрації і плагінів для реставрації безпосереднім застосуванням прийнятного для даного типу носія і враховуючи особливості інформаційної складової фонограми, необхідних програмних засобів.

3 КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РЕСТАВРАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ФОНОГРАМ

Визначення процесу реставрації та відновлення аналогових фонограм та якості фонограм після реставрації вимагає концептуального підходу до самого процесу реставрації та відновлення і не тільки – враховуючи також процес формування самої фонограми на відповідному носії [72].

Побудова концептуальної моделі (КМ) процесу реставрації та відновлення звукових фонограм, якісні показники яких змінилися в результаті створення фонограми, запису інформації на певний носій, а також в результаті експлуатації та зберігання фонограми, дозволить в подальшому визначити методи і засоби для автоматизації процесу реставрації й підвищити ефективність самого підходу до виконання реставраційних робіт з фонограмами, а також ефективність РтаВФ. Для побудови концептуальної моделі процесу реставрації та відновлення фонограм необхідно описати основні артефакти фонограм, особливості їх появи і вплив на якість фонограми, взаємозв'язок артефактів фонограми між собою і результатами РтаВФ, дослідити інструменти проведення РтаВФ з використанням відповідних апаратно-програмних засобів з метою сформувати комплекс необхідних заходів в даній галузі.

Технологія створення будь-якої фонограми передбачає такі етапи [4]:

- підготовка умов запису фонограми, вибір носія запису, вибір оптимальних параметрів майбутньої фонограми тощо;
- запис фонограми на відповідний носій, монтаж, зведення та інші роботи формування фонограми, включаючи попереднє оброблення;
- оброблення фонограми за різними параметрами для покращення якісних характеристик у разі використання її для побутового або професійного призначення, у різних додатках, телерадіомовленні, а також для узгодження з каналами розповсюдження;
- тиражування та розповсюдження фонограми, а також створення копії для тривалого зберігання.

Будь-яка фонограма, навіть ще на підготовчому етапі її створення, не говорячи про принцип запису та умови зберігання підпадає під вплив різних факторів, що надають фонограмі деяких артефактів, які, в свою чергу, вносять спотворення у фонограму й формують невідповідність фонограми початковій інформації, тобто інформації, що записують.

На початковому етапі і безпосередньо під час запису причиною артефактів фонограми будуть акустичні шуми приміщення, в якому відбувається запис. Сюди також можна додати недосконале обладнання звукозапису, низькі технічні характеристики пристроїв оброблення звуку, мікрофонів, відсутністю професійного досвіду звукорежисера тощо [7].

При формуванні фонограми на відповідному носії значні артефакти вносяться самим носієм, який характеризується наявністю власних шумів, а також сам принцип перетворення та реєстрації сигналу на відповідний носій володіє особливими ознаками, що призводять до спотворень сигналу.

Під час відтворення аналогових фонограми, особливо після деякої кількості разів відтворення, носій може піддаватися механічним пошкодженням, рватись, витягуватись, викривлятись, втраті реєстраційного шару тощо.

При зберіганні фонограми, особливо тривалому зберіганні в неналежних умовах також вносяться артефакти, які можуть виявлятися зміною структури носія, його пошкодженням і появою специфічних спотворень як, наприклад, копірефект для магнітного запису.

Отже, наявність артефактів аналогових фонограм для будь-якого носія, визначається такими чинниками – умовами запису, параметрами звукотехнічного обладнання та застосовуваних операцій над звуком в процесі запису, принципом запису і особливістю самого носія, параметрами обладнання та умовами відтворення фонограми, умовами зберігання фонограми. Однак, появу окремих артефактів для різних фонограм можна вважати випадковим і локальним процесом, адже при належних умовах окремі артефакти можуть не з'являтись, або їх значення будуть нижче припустимих відхилень [16].

Технологічний процес реставрації та відновлення аналогових фонограм

передбачає виявлення та виправлення артефактів, які з'явилися на фонограмі в процесі запису на носій, експлуатації та зберігання фонограми.

Кінцевим результатом процесу РтаВФ є фонограма досить високої якості, яка зберегла свою початкову якість, навіть поліпшивши показники і, найголовніше, позбавлена повністю або частково артефактів. Відреставрована фонограма може мати якісні показники, що відповідають сучасним вимогам до звучання і бути придатна, наприклад, для використання в телерадіомовленні, як мультимедійний контент в мережах Інтернет тощо.

На етапі виконання самого процесу реставрації та відновлення фонограм звукорежисеру-реставратора необхідно:

- визначити і проаналізувати рівень погіршення фонограми за рахунок артефактів і розробити методику реставрації та відновлення фонограми;
- визначити засоби обробки і виконання певних операцій, а також фахівців для суб'єктивної оцінки якості;
- визначити час для виконання операцій і обробки з урахуванням можливостей апаратури та обладнання;
- вказати можливі варіанти реставрації, що визначають порядок, параметри і ін., а також тривалість проведеного аналізу процесу реставрації.

Технологічний процес РтаВФ, як і будь-який інший технологічний процес, передбачає повну або часткову автоматизацію. Процес РтаВФ є творчим процесом, проте деякі етапи цього процесу можна автоматизувати, наприклад, визначення артефактів, характерних для відповідного носія. У зв'язку з цим до нього можна застосувати систему оперативного управління. Така оперативна система управління повинна забезпечувати [17]:

- своєчасне виявлення артефактів фонограми;
- здатність швидко і точно обробляти інформацію, що надходить;
- здатність досить точно прогнозувати розвиток процесу реставрації і передбачати ситуацію, пов'язану з помітним поліпшенням або погіршенням якості фонограми;
- можливість досягнення високої якості фонограми після реставрації;

- здатність правильно і своєчасно реагувати на зміни якісних показників в результаті застосування відповідних обробок і перетворень сигналу;
- здатність впливати на процес реставрації з боку зовнішнього інтелектуального впливу, наприклад, режисером реставратором;
- зміна видів обробки і цілей проведених робіт в процесі реставрації;
- здатність швидко і точно змінювати параметри реставрації.

Для оперативного управління процесом відновлення та реставрації фонограми з ушкодженого носія необхідно використовувати сценарний підхід до самого процесу та до ситуаційного методу розробки процесу. Також необхідна оперативна динамічна оцінка поточної ситуації якісних змін фонограм і аналізу нової ситуації при РтаВФ.

3.1 Основні компоненти та систематизація концептуального моделювання процесу реставрації та відновлення фонограм

Концептуальна модель передбачає врахування динаміки поліпшення або погіршення параметрів фонограм в процесі реставрації, можливість оцінки впливу на якість управління процесом реставрації внутрішніх та зовнішніх факторів процесу, а також можливість оцінки ефективності застосування тих або інших засобів обробки сигналу в процесі реставрації з використанням інформаційних технологій та сучасних засобів РтаВФ.

Разом з тим, концептуальне моделювання допоможе вирішити такі задачі: побудувати на основі концептуальної моделі сценарій виконання процесу РтаВФ, виявлення ситуаційних помилок процесу та динаміки зміни параметрів фонограм, дослідження можливих інструментальних засобів для підвищення параметрів фонограм [15,16] і підвищення ефективності процесу РтаВФ. Таким чином, питання реалізації концептуальної моделі і моделювання є нагальними для підвищення якості відновленої інформації, в наш час досліджені недостатньо.

Концептуальна модель повинна враховувати всі можливі артефакти фонограм, періоди, режими та час їх появи, вплив, що призводить до появи

артефактів, можливі зміни параметрів інформаційного сигналу в процесі виконання РтаВФ, межі зміни якісних показників фонограм у результаті появи певних чи інших артефактів та багато іншого, що дозволяє прогнозувати наслідки відновлення та визначити деякі проблемні ситуації у самому процесі РтаВФ.

Предметною областю, що являє інтерес для дослідження в даній роботі є процес реставрації та відновлення звукової фонограми, яка придбала певні артефакти, викликані різними факторами.

Основними компонентами концептуальної моделі РтаВФ є [73]:

- опис об'єктів процесу РтаВФ і зв'язків між ними;
- опис інформаційних потреб користувачів;
- опис існуючої інформаційної системи;
- опис алгоритмічних залежностей показників;
- опис обмежень цілісності;
- опис функціональної структури системи;
- вимоги до інформаційної системи і існуючі обмеження.

В процесі побудови концептуальної моделі необхідно структурувати знання стосовно появи та наявності певних артефактів фонограм і самого процесу РтаВФ, про етапи процесу та можливі засоби та способи вирішення проблем наявності артефактів, про можливі відхилення параметрів режимів виконання процесу РтаВФ, забезпечити безперервний збір і обробку інформації про зміну (поліпшення або погіршення) параметрів фонограм у процесі реставрації. При побудові концептуальної моделі необхідно провести структурний аналіз і структурно-функціональну декомпозицію самої моделі, провести моделювання варіантів відображення інформації та, застосовуючи комплексний аналіз результатів моделювання видати інформацію для прийняття рішення щодо доцільності процесу РтаВФ.

Системне моделювання процесу реставрації та відновлення фонограм та побудова концептуальної моделі передбачає виконання таких підетапів:

1. Виявлення самих артефактів фонограм, як елементів КМ, що в цілому характеризує стан фонограми.

2. Виявлення характерних факторів, які призвели до появи певних артефактів, як сукупність множини елементів КМ.

3. Виявлення параметрів фонограм, на які впливають певні артефакти.

4. Визначення меж зміни параметрів якості фонограм з урахуванням наявності артефактів.

5. Визначення необхідних заходів щодо зменшення впливу артефактів на фонограму та підвищення якісних показників фонограм.

Елементи в КМ представлені як множина концептів $C = \{C_i\}$. Кожний з концептів характеризують власною змінною X_i , що відображає стан концепту (далі - змінна стану) [74].

Серед факторів, які приводять до появи артефактів у звуковій фонограмі, необхідно врахувати фактори, спричинені:

а) незадовільним режимом первинного запису, монтажу та формування фонограм, тобто на етапі створення фонограм, включно з людським фактором, наприклад, уміння та професійна підготовка звукорежисерів запису, монтажу та зведення фонограм;

б) особливостями носія запису, принципом занесення інформації на цей носій, артефактами, що притаманні саме цьому виду носія;

в) особливостями, тривалістю та умовами зберігання фонограми;

Додатково для процесу реставрації необхідно враховувати і «нові» артефакти фонограм, спричинені:

г) режимом відтворення фонограм у процесі реставрації, режимами проведення певних видів обробки фонограм, обладнанням, що використовується, технічними засобами та методами [15,16];

д) особливостями та параметрами перетворення аналогових фонограм в цифрову форму [75] та записом фонограм у пам'ять ПК для подальшого виконання процесу РтаВФ з використанням цифрових технологій та засобів;

е) використанням відповідних програмних засобів та послідовності їх застосування в процесі РтаВФ;

ж) людським фактором - вмінням та професійним рівнем звукорежисера-

реставратора.

Основні артефакти фонограм умовно розподілені на групи незалежно від виду носія, але враховуючи носій, в кожній з яких виділяють певні концепти (табл. 3.1).

До таких груп відносять:

1 - артефакти, що враховують людський фактор, а саме, здібності та вміння звукорежисера запису, звукорежисера монтажу і зведення, а в подальшому і звукорежисера-реставратора (I - individual, індивід);

2 - артефакти, що визначені умовами, устаткуванням та обладнанням запису, зведення, відтворення. До умов віднесено акустичні умови приміщень запису, умови взаємодії елементів пристроїв з носіями інформації (контакт головки і стрічки (неконтакт, перекис тощо), голки з грамплатівкою (перевага, антискейтінг тощо), зміни швидкості руху носія (детонація, плавання, дрейф), завади типу «рокот», нелінійні спотворення апаратури, відсутність екранування (E – equipment, обладнання);

3 - артефакти, визначені властивостями носіїв запису, які можна розподілити на підгрупи (RM record medium - носій інформації):

- а) різного виду шуми тривалої дії;
- б) завади короткочасної дії;
- в) амплітудно-частотні лінійні спотворення;
- г) нелінійні спотворення, що формуються носіями;
- д) сприйнятливність до механічного руйнування носія в процесі запису, зберігання (копірефект), відтворення;

е) сприйнятливність до руйнування носія в процесі неправильного зберігання та порушення кліматичних умов;

- ж) взаємний вплив стереоканалів (перехресна завада);
- з) специфічні властивості носія;
- і) властивості, визначені технологією виготовлення носія (штампування, напилення магнітного шару, технології фотопроцесів);

4 - артефакти, визначені умовами зберігання (S storage - зберігання).

Таблиця 3.1 - Характеристики концептуальної моделі

1.1 - Артефакти фонограм		
Множина концептів	Змінні компоненти	Характеристики станів об'єкту КМ
$C^I = \{C_i^I\}$	X_i^I	Артефакти, визначені людським чинником, здібності та уміння звукорежисера запису, звукорежисера монтажу та зведення, а в подальшому і звукорежисера-реставратора
$C^E = \{C_i^E\}$	X_i^E	Артефакти, що визначено умовами, апаратурою та обладнанням запису, зведення, відтворення. Умовами вважають акустичні умови приміщення запису, умови взаємодії елементів пристроїв з носіями інформації
$C^{RM} = \{C_i^{RM}\}$	X_i^{RM}	Артефакти, визначені властивостями носія запису
$C^S = \{C_i^S\}$	X_i^S	Артефакти, визначені умовами зберігання
1.2 - Визначення алгоритмів КМ: концепт – зв'язки між концептами – управляючі рішення		
Множина концептів	Зв'язки між концептами	Спеціальні управляючі впливи
$C^{ID} = \{C_k^{ID}\}$	V_{ij}	Множина можливих інформаційних показників в КМ (ID - information data).
$C^{IC} = \{C_n^{IC}\}$	W_{ij}	Множина функцій впливу на зв'язки, що визначають рівень значимості між концептами (IC - intercommunication).
1.3 - Передпроектні дослідження		
Вихідні дані		Методологія
$M = \{C^I, C^E, C^{RM}, C^S, C^{ID}, C^{IC}\}$		Формування КМ з достатньою кількістю концептів
$\{C^I, C^E, C^{RM}, C^S, C^{ID}, C^{IC}\}^1$		Формування переліку концептів виконавцем процесу
$\{C^I, C^E, C^{RM}, C^S, C^{ID}, C^{IC}\}^0$		Формування переліку концептів експертами для контролю кінцевого результату (якості відновленої фонограми)

Вирішення питання реставрації та відновлення фонограм, наприклад, з видаленням відповідних артефактів фонограм повинно супроводжуватись спеціальними управляючими впливами, що визначаються інформаційними

даними та взаємозв'язком між концептами (табл. 3.1).

Також для формування КМ необхідні деякі вихідні дані, що визначаються передпроектними дослідженнями (табл. 3.1).

3.2 Побудова системної моделі процесу реставрації та відновлення фонограм

Для побудови системної моделі (СМ) необхідно пояснити і взаємо зв'язати припущення, механізми виникнення артефактів і основні етапи процесу відновлення, локалізації та ліквідації артефактів, викликаних різними факторами.

СМ дозволяє класифікувати поточну фазу процесу реставрації, на якісному рівні оцінити перетворення фонограми, якісно оцінити результати проведення відповідних обробки сигналів та інших заходів на підставі результатів роботи системи реставрації та відновлення. СМ процесу реставрації (рис. 3.1) - це взаємозв'язані підсистеми, представлені у вигляді триад - графа з трьома вершинами.

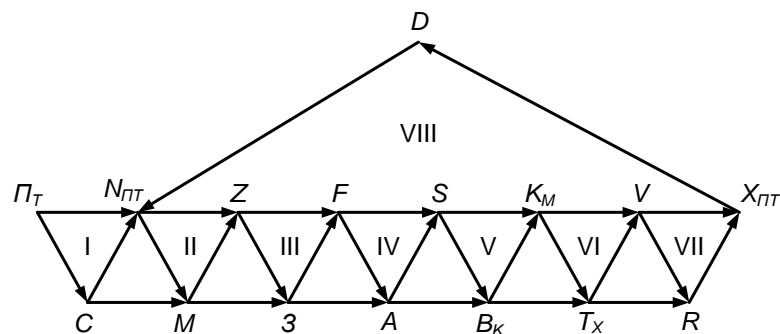


Рисунок 3.1 - Системна модель процесу РтаВФ

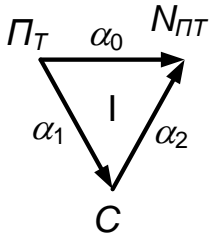
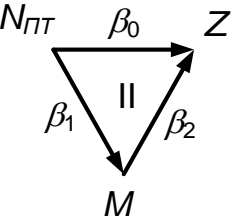
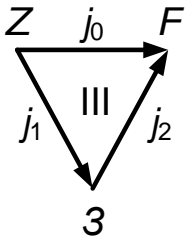
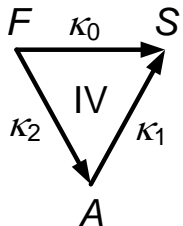
Кожній вершині відповідає певна множина об'єктів, а ребра відповідають відносинам між цими об'єктами [74].

СМ використовують для проведення системного аналізу процедури вилучення артефактів у процесі відновлення та реставрації фонограм.

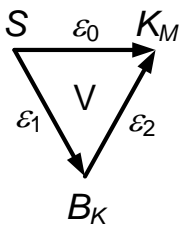
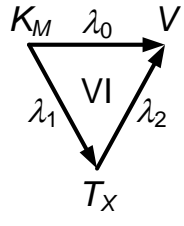
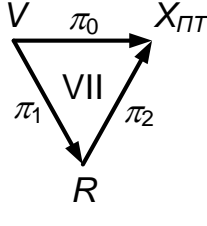
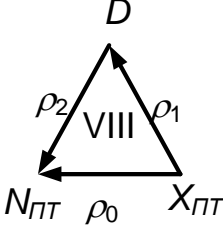
Вимоги до формування триад (табл. 3.2) [74].

1. Зв'язок елементів триад один з одним повинен характеризуватися співвідношенням, видом діяльності або функціональною залежністю.

Таблиця 3.2 – Вимоги до формування тріад

Форма тріад	Взаємозв'язки	Опис вимог
	$\alpha_0 : ПТ \rightarrow N_{ПТ}$ $\alpha_1 : ПТ \rightarrow C$ $\alpha_2 : C \rightarrow N_{ПТ}$	<p>Перша тріада (1Т) відображає потреби ліквідації артефактів, що виникли, і які викликані різними факторами. Множина $ПТ$ потреб, пов'язаних з ліквідацією артефактів - $N_{ПТ}$. Також множина C концепцій (методик) з ліквідації множини $N_{ПТ}$ тобто із забезпечення потреб. При цьому одна множина може бути відображена на іншій, і зворотно:</p> $\alpha_2^{-1} : N_{ПТ} \rightarrow C.$
	$\beta_0 : N_{ПТ} \rightarrow Z$ $\beta_1 : N_{ПТ} \rightarrow M$ $\beta_2 : M \rightarrow Z$	<p>Друга тріада (2Т). На основі множини $N_{ПТ}$ формується множина Z цілей, пов'язаних з ліквідацією артефактів, а множина M відображає безліч проблем, які необхідні для досягнення безлічі прийнятих цілей Z. 1Т і 2Т реалізують на основі досвіду знань та інтелекту звукорежисера-реставратора, які відображають в формі експертних систем. Труднощі: Z ієрархічна, динамічна, пріоритети підцілей можуть змінюватися в процесі реставрації і ліквідації артефактів непередбачуваним чином.</p>
	$j_0 : Z \rightarrow F$ $j_1 : Z \rightarrow 3$ $j_2 : 3 \rightarrow F$	<p>Третя тріада (3Т) переводить множину Z на множину F функцій для досягнення Z. Конкретизують Z через множину 3 - завдань, що відображають підцілі в якісному і в кількісному відношеннях, а також в просторі і в часі. F охоплює функції планування, прогнозування, управління, прийняття рішень, діагностики та аналізу стану артефактів фонограми і якісних показників самої фонограми в процесі РтаВФ, оцінки розвитку реставраційних робіт, ресурсозабезпечення.</p>
	$\kappa_0 : F \rightarrow S$ $\kappa_1 : F \rightarrow A$ $\kappa_2 : A \rightarrow S$	<p>Четверта тріада (4Т) відображає необхідність створення множини S функціональних підсистем (ФП-агентів) для реалізації F функцій. При цьому, кожна підсистема повинна мати відповідну структуру, алгоритми. Існує проблема побудови множини A алгоритмів (структур) і вибору відповідної функції - критерію максимальної відповідності певного параметра, що виконується в автоматизованому або інших режимах.</p>

Продовження табл. 3.2

Форма триад	Взаємозв'язки	Опис вимог
	$\varepsilon_0 : S \rightarrow K_M$ $\varepsilon_1 : S \rightarrow B_K$ $\varepsilon_2 : B_K \rightarrow K_M$	П'ята триада (5Т) відображає множину S функціональних підсистем на множині K_M її компонувань (структур) через множину B_K варіантів. Кожен B_K відображає конкретні елементи складу: кадри, апаратуру, технології, способи виявлення та реалізації тощо. Завдання вибору варіанту базується на основі оптимізації компонування за обраним критерієм з використанням різних методик.
	$\lambda_0 : K_M \rightarrow V$ $\lambda_1 : K_M \rightarrow T_X$ $\lambda_2 : T_X \rightarrow V$	Шоста триада (6Т) відображає множину K_M компонувань функціональних систем на множині V робіт (заходів), які необхідно виконати з використанням множини T_X технологій, наявних високопродуктивних, ресурсозберігаючих, безпечних, узгоджених з можливостями функціональних підсистем і з особливостями виконуваних заходів по РтаВФ.
	$\pi_0 : V \rightarrow X_{ПТ}$ $\pi_1 : V \rightarrow R$ $\pi_2 : R \rightarrow X_{ПТ}$	Сьома триада (7Т). На основі множини V виконаних робіт (заходів) формує множину $X_{ПТ}$ нових станів процесу розвитку реставрації $ПТ$ завдяки керуючим факторам шляхом витрачання множини R наявних ресурсів, обраних з умови або найкращого і якнайшвидшого переведення $ПТ$ фонограми в новий якісний стан, або зниження рівня артефакту в фонограмі $ПТ$.
	$\rho_0 : X_{ПТ} \rightarrow N_{ПТ}$ $\rho_1 : X_{ПТ} \rightarrow D$ $\rho_2 : D \rightarrow N_{ПТ}$	Восьма триада (8Т) відображає множину $X_{ПТ}$ нових ситуацій на множині $N_{ПТ}$ старих $ПТ$ через множину D оцінок нових станів, що дозволяє судити про ефективність усіх видів обробки сигналу і заходів з ліквідації артефактів. Оцінка ефективності може бути проведена за критерієм, що характеризує ступінь близькості відреставрованої фонограми по відношенню до необхідних показників якості.

2. Елементи триад повинні бути адекватні один одному, тобто, відповідати один одному за якимсь принципом і відображатися один на одному.

Елементи множини нижнього рівня утворюють нові триади-об'єкти, а саме на види подальших досліджень.

Триади I-III реалізують на основі досвіду, знань та інтелекту звукорежисера-реставратора та відображаються у вигляді експертних систем.

Тріади IV-VII базовано на використанні інформаційних, функціональних та динамічних моделей.

Тріада VIII дозволяє визначати ефективність всіх видів обробки та програмних засобів для РтаВФ.

Системна тріадна модель об'єднує в єдину систему всі види діяльності звукорежисера та автоматизованих операцій, пов'язаних із проведенням процесу РтаВФ, дозволяє якісно проводити аналіз результатів, отриманих в процесі РтаВФ, визначати оптимальний час для проведення відновлювальних та діагностичних процедур з метою отримання максимально оптимальних результатів реставрації та застосування найбільш ефективних методів відновлювальних робіт під час РтаВФ і після.

3.3 Побудова мультиагентної системної моделі процесу реставрації та відновлення фонограм

На концептуальному рівні можна виділити деяку інваріантну частину [73].

1. Об'єкт (процес, фонограма) динамічний, його зміни відбуваються в просторі і в часі.
2. Без проведення РтаВФ якісні показники фонограми можуть істотно погіршуватися.
3. Процес взаємодії реставратора з фонограмою відбувається на кінцевому інтервалі часу і в локальному просторі.
4. Артефакти фонограми мають безліч змінних (параметрів), які характеризують їх стан і які можуть бути визначені й виміряні із заданою точністю.
5. Існують фактори, що цілеспрямовано впливають на фонограму, вносячи відповідні артефакти.

Відзначимо деяку особливість процесу РтаВФ. Є деякі операції, які призводять до деякого погіршення параметрів фонограми, що може привести до негативного результату процесу РтаВФ. Наприклад, зниження шумів, а також

деякі види динамічної обробки, можуть вносити спотворення частотної характеристики сигналу - зниження рівня ВЧ складових тощо.

Таким чином, виділені інваріантні властивості РтаВФ дозволяють створити концептуальну модель процесу РтаВФ, засновану на взаємодії підсистем (агентів) [74].

Агент - абстракція множини операцій, процесів, технічних засобів, що мають одні і ті ж властивості і правила використання.

Системний аналіз процесу РтаВФ дозволяє виділити шість підсистем (агентів) в процесі реставрації, що складають мультиагентну системну модель (СМ) (рис. 3.2):

- 1- артефакти;
- 2- відновлювана фонограма;
- 3- підсистема прийняття рішень [76];
- 4- інформаційна підсистема [77];
- 5 - виконавча підсистема [78];
- 6 - впливові фактори.

Стан об'єктів 1 і 2 характеризуються через змінні стану. Визначимо множину $X = \{x_i\}$ змінних, що характеризують властивості та особливості артефактів:

- x_0 - початковий дестабілізуючий фактор, що викликав появу артефакту;
- x_1 - умови появи артефакту; x_2 - ступінь впливу артефакту на фонограму;
- x_3 - параметр, найбільш підданий впливу артефакту, місце та ступінь зміни параметра фонограми;
- x_4 - ступінь можливого вирішення проблеми - ступінь повного або часткового видалення артефакту без втрати інформаційної складової фонограми;
- x_5 - ступінь часового впливу артефакту.

Стан звукової фонограми характеризують множиною Y з наступних змінних:

- Y_1 - якісні показники фонограм, серед яких: y_{1-1} - частотні характеристики фонограми; y_{1-2} - шумові характеристики фонограми; y_{1-3} - наявність нелінійних спотворень фонограми; y_{1-N} - інші;
- Y_2 - механічний стан фонограм, серед яких: y_{2-1} - короблення, викривлення

витягування і його ступінь; y_{2-2} - злом, розрив і його ступінь; y_{2-3} - потертості і їх ступінь; y_{2-N} -інші.

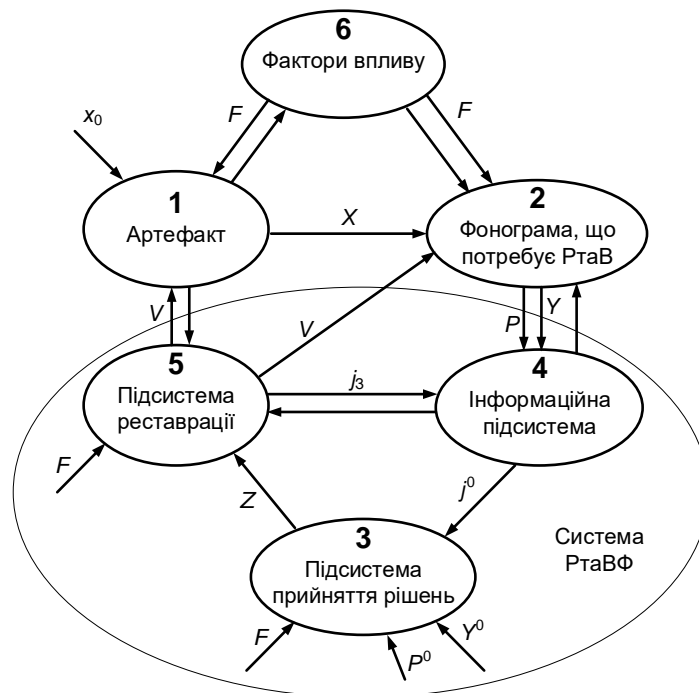


Рисунок 3.2 - Мультиагентна системна модель процесу РтаВФ

Втрати від наявності артефактів характеризують множиною втрат $P = \{p_i\}$: p_1 - власне фонограма загалом; p_2 - робочий шар носія фонограми; p_3 - окремі складові параметрів фонограми (звуження частотного діапазону, збільшення нелінійних спотворень, підвищення шумових складових і тим самим маскування інформаційних низькорівневих сигналів тощо).

Стан підсистем оперативного прийняття рішення визначають множиною $Z = \{z_i\}$ змінних, що характеризують технологічні рішення, спрямовані на:

z_1 - залучення досвідчених звукорежисерів-реставраторів, ефективного використання інтелектуального ресурсу;

z_2 - використання ефективних апаратно-програмних засобів для відновлення та відновлення фонограм;

z_3 - використання високоякісних приладів та обладнання для об'єктивної оцінки якості фонограм;

z_4 - використання високоякісних приладів та обладнання для суб'єктивної оцінки якості фонограм;

z_5 - використання спеціальних ефективних засобів виявлення артефактів фонограм;

z_6 - використання інформаційних ресурсів для підвищення мобільності системи та ефективності виконання робіт;

z_7 - використання фінансових ресурсів для технічного та творчого забезпечення процесу РтаВФ;

z_8 - використання спеціальних засобів попередження виникнення нових артефактів або модернізації існуючих (засобів моніторингу, контролю, діагностики);

z_9 - управління часовим ресурсом;

z_{10} - використання захисних заходів щодо поліпшення стану фонограм.

Інформаційну підсистему характеризують множина засобів для вимірювання, обробки та аналізу інформації щодо артефакту (J_1), самої фонограми (Y), зовнішніх впливових факторів (J_2) та виконавчої підсистеми (J_3).

Інформаційна підсистема своєчасно надає достовірну інформацію про підсистему прийняття рішень на основі аналізу стану фонограм і її артефактів.

Стан виконавчої підсистеми характеризують множиною $U=\{U_k\}$ розташованих засобів для управління процесом РтаВФ. Змінні U_k відображають об'єм V_k , спрямований на виконання прийнятих рішень Z_k , що супроводжуються деякими помилками виконання.

$U=\{U_k\}$ - загальний ресурс, необхідний для попередження, виявлення, керування процесом РтаВФ, ліквідації наслідків наявності артефактів.

3.4 Концептуальне моделювання процесу РтаВФ

Концептуальна модель - це умовно абстрактна модель, яка визначає структуру модельованої системи, властивості її елементів і причинно-наслідкові зв'язки, властиві системі і суттєві для досягнення мети моделювання [74].

Побудова концептуальної моделі включає наступні етапи:

- визначення типу системи;

- опис робочого навантаження (визначення параметрів і змінних моделі);
- декомпозицію системи.

На першому етапі здійснюється збір фактичних даних про систему, необхідність побудови системи, вхідні-вихідні дані системи, а також висунення гіпотез щодо значень параметрів і змінних, для яких відсутня можливість отримання фактичних даних. Отримані результати повинні відповідати принципам інформаційної достатності і здійсненності щодо модельованої системи.

Опис робочого навантаження. При дослідженні ефективності функціонування системи вельми важливу роль відіграє коректний опис умов її протікання. Як правило, він являє собою перелік і характеристики зовнішніх факторів, що впливають на виконавчу підсистему, зазначення особи, яка приймає рішення (ОПР) для досягнення цілей операції. Якщо при порівнянні різних стратегій інші види матеріальних ресурсів не розглядають, то завдання дослідження ефективності операції може бути сформульована як задача оцінки ефективності виконавчої підсистеми (саме в цьому сенсі раніше поряд з поняттям «ефективність операції» використовувалося поняття «ефективність системи»). У цьому випадку замість умов проведення операції зручніше розглядати робоче навантаження відповідної системи.

Робоче навантаження - це сукупність зовнішніх впливів, що визначають ефективність застосування даної системи в рамках проведеної операції.

У нашому випадку аналізуємо систему РтаВФ. Тут доцільно розглядати ефективність і продуктивність процесу видалення артефактів фонограм, викликаних певними зовнішніми і внутрішніми факторами і поліпшення технічних показників фонограми, а також кількість і ступінь артефактів, що призводять до не досягнення оптимального результату процесу РтаВФ [72].

Опис робочого навантаження є не тільки важливим, але і досить складним завданням. Особливо в тих випадках, коли доводиться враховувати вплив випадкових чинників або, коли мова йде про робоче навантаження принципово нової проєктованої системи.

Декомпозицію системи проводять виходячи з обраного рівня деталізації моделі, який, в свою чергу, визначають трьома факторами:

- цілями моделювання;
- обсягом апріорної інформації про систему;
- вимогами до точності і достовірності результатів моделювання.

Рівні деталізації іноді називають стратами, а процес виділення рівнів - стратифікацією.

Деталізація системи повинна проводитися до такого рівня, щоб для кожного елемента були відомі або могли бути отримані залежності його вихідних характеристик від вхідних впливів, істотні з точки зору обраного показника ефективності.

Підвищення рівня деталізації опису системи дозволяє отримати більш точну її модель, але ускладнює процес моделювання і веде до зростання витрат часу на його проведення.

Наприклад, якщо моделюється дискретна система, то більш детальне її опис означає збільшення числа різних станів системи, що враховуються в моделі, і, як наслідок, - неминуче зростання обсягу обчислень.

Тому при виборі рівня опису системи доцільно керуватися таким правилом: в модель повинні увійти всі параметри, які забезпечують визначення характеристик системи на заданому часовому інтервалі її функціонування; інші параметри по можливості з моделі слід виключити.

Розробка концептуальної моделі завершується складанням змістовного опису, яке використовується як основний документ, що характеризує результати роботи на першому етапі [79].

До концептуальної моделі висуваються такі вимоги:

- адекватне відображення предметної області (інформація для представлення моделі повинна мати достатні виразні можливості для відображення явищ, що мають місце в предметній області, а сама модель повинна містити всю необхідну і достатню інформацію для подальшого проектування системи);
- несуперечність (модель відображає погляди і потреби всіх користувачів

системи, а також зазвичай є результатом роботи багатьох фахівців, тому цілісний опис предметної області має бути перевірено на несуперечливість);

- однозначне трактування моделі усіма її користувачами (забезпечується формалізованістю мови і чітким його розумінням усіма учасниками процесу створення системи);

- легкість сприйняття різними категоріями користувачів (забезпечується вибором відповідної мови моделювання);

- кінцівку моделі (незважаючи на те, що реальний світ, який відображається в КМ, є за своєю природою нескінченним, інфологічна модель є кінцевою, що забезпечується чітким обмеженням предметної області);

- легкість модифікації (в концептуальну модель з різних причин часто доводиться вводити нові об'єкти або модифікувати існуючі; КМ повинна в зв'язку з цим мати властивість легкої розширюваності, що забезпечує введення нових даних без зміни раніше визначених. Те ж саме можна сказати і про видалення та коригування даних);

- можливість композиції і декомпозиції моделі в зв'язку з великою розмірністю реальних інфологічних моделей.

Бажано, щоб мова специфікації концептуальної моделі була однаково застосовувана як при ручному, так і при автоматизованому проектуванні інформаційних систем. Останнє пред'являє до мови додаткові вимоги, а саме, він повинен:

- бути обчислюваним, тобто сприйматися і оброблятися ЕОМ;
- використовувати «дружні» користувачеві інтерфейси, зокрема, графічні;
- бути незалежним від устаткування і інших ресурсів, які схильні до частих змін;

- використовувати засоби тестування КМ, а також мати апарат для вказівки того, що специфікація завершена і по ній може бути виконана генерація структур баз даних.

При автоматизованому проектуванні всі зміни, внесені в КМ, повинні бути автоматично відображені в компонентах банку даних, пов'язаних з елементом, що

модифікується.

КМ процесу РтаВФ графічно зображують у вигляді функціонально-орієнтованого графа. Кожній вершині відповідає деякий базове поняття - концепт, що відповідає класу об'єктів, а кожній дузі - знак відношення, яке в загальному випадку є функціональною залежністю $f_{ij} = (X_i X_j)$, де X_i й X_j - параметри, що характеризують стани відповідно i -го і j -го вузлів в даний момент часу, або деякі відношення між цими концептами.

Відношення між концептами можуть приймати семантичне значення ± 1 , алгебраїчне значення $\pm W_{ij}$.

Особливість підходу - не тільки у виділенні декількох груп концептів в КМ, але і виділення відповідних режимів процесу реставрації фонограми.

1. Нормальний режим. Фонограма відновлюється без погіршення якості, змінні стану концептів знаходяться в інтервалі $[(X^{El,U,G})_0, (X^{El,U,G})_{кр}]$, де $(X^{El,U,G})_0$ - початкові значення змінних, $(X^{El,U,G})_{кр}$ - критичні значення змінних.

2. Потенційно небезпечний режим. Якість фонограми в процесі відновлення може здобувати додаткові артефакти, викликані самим процесом реставрації, що характеризує неправильні вибрані параметри при відновленні, що вимагає прийняття негайних заходів щодо зміни параметрів засобів обробки сигналу в процесі РтаВФ. Змінні стану концептів знаходяться в інтервалі $[(X^{El,U,G})_{кр}, (X^{El,U,G})_{НР}]$, де $(X^{El,U,G})_{НР}$ - значення змінних, при яких можлива поява залишкових артефактів (НР - наслідки реставрації).

3. Загрозливий режим фонограми. В процесі реставрації фонограма набуває певні артефакти, при яких вона втрачає свою первинну якість. Ці додаткові артефакти проявляються у вигляді спотворень, які назад відновити буде неможливо. Значення змінних виходять за граничні $(X_i^{El,U,G}) \geq (X_i^{El,U,G})_{НР}$.

Концепти і змінні стану наведено в табл. 3.3.

Деталізована КМ процесу РтаВФ потребує уточненого обліку наявних артефактів у процесі запису, зберігання та відновлення, та визначених змінних стану.

Таблиця 3.3 - Концепти і змінні стану, що відображають артефакти звукових фонограм

Позначення концепту	Тип концепту
	Концепти, що відображають артефакти, визначені людським фактором
C_1^I	кількість та уміння співробітників, що беруть участь в технологічному процесі
C_2^I	час виконання технологічних процесів (часовий фактор)
C_3^I	навчання персоналу
C_4^I	забезпечення заробітною платою
C_5^I	невраховані концепти, що відображають артефакти, спричинені людським фактором
	Концепти, що відображають артефакти, визначені умовами та апаратурою запису-відтворення
C_1^E	параметри якості апаратури (первинного запису, відомості про обладнання первинного запису, відтворення при РтаВФ)
C_2^E	акустичні умови в студії (звукозапису, реставрації)
C_3^E	знос обладнання та апаратури, а також невідповідність стандартів обладнання
C_4^E	параметри взаємодії носія і зчитувального елемента обладнання (контакт «елемент зчитування-носії», неточність положення елемента зчитування і носія, сила зчеплення елемента зчитування з носієм, система врівноваження між елементом зчитування і носієм, геометричні відмінності носія і елемента зчитування тощо)
C_5^E	параметри, що визначають особливості переміщення носія (нелінійність руху носія, детонація механізму переміщення носія, дрейф швидкості переміщення носія, плавання швидкості переміщення носія тощо)
C_6^E	завади, шуми, які визначаються апаратурою (завада типу «рокіт» при переміщенні носія, власні шуми функціональних вузлів, вібрація механізму переміщення носія тощо)
C_7^E	частотний діапазон і інші частотні характеристики апаратури
C_8^E	нелінійні спотворення апаратури, включно з нелінійними спотвореннями, викликані перевантаженням апаратури, нелінійністю перетворення сигналів
C_9^E	лінійні спотворення апаратури
C_{10}^E	захист від зовнішнього впливу елементів апаратури (екранування)
C_{11}^E	проведення профілактичних робіт з апаратурою

Продовження табл. 3.3

Позначення концепту	Тип концепту
C_{12}^E	невраховані концепти, що відображають артефакти, визначені умовами та апаратурою
	Концепти, що відображають артефакти, визначені властивостями носія запису
C_1^{RM}	шуми тривалої дії, викликані структурою носія (структурний шум, шипіння)
C_2^{RM}	шуми тривалої дії, викликані пошкодженням носія («пісочний» шум)
C_3^{RM}	шуми тривалої дії, викликані непостійним контактом носія з елементом зчитування (модуляційний шум - ПАМ)
C_4^{RM}	завади короткочасної дії - комутаційні (клацання), імпульсні, викликані пошкодженням носія, імпульсні, викликані частотою обертання механізму переміщення носія
C_5^{RM}	амплітудно-частотні характеристики носія, лінійні спотворення, чутливість до гармонік
C_6^{RM}	нелінійні спотворення, що спричинені носієм і принципом запису на носій, викликані умовами переміщення носія, перевантаженням носія
C_7^{RM}	сприйнятливність до механічного руйнування носія в процесі запису-відтворення,
C_8^{RM}	сприйнятливність до руйнування носія в процесі неправильного зберігання, зберігання з недотриманням кліматичних умов
C_9^{RM}	взаємовплив (перехідне загасання) стереоканалів, шарів (копірефект) тощо
C_{10}^{RM}	специфічні властивості носія, властивості, визначені технологією виготовлення носія (штамбування, напилення магнітного шару, фото процеси тощо)
C_{11}^{RM}	ВЧ втрати в носії, самознищення інформації в носії тощо
C_{12}^{RM}	масогабаритні показники носія
C_{13}^{RM}	невраховані концепти, що відображають артефакти за певними властивостями носія
	Концепти, що відображають артефакти, визначені умовами зберігання носія
C_1^S	проведення профілактичних робіт в зоні зберігання, застосування кліматичної нормалізації
C_2^S	невідповідність норм зберігання
C_3^S	непередбачені несприятливі події
C_4^S	механічне пошкодження носія - витягування, осипання інформаційного шару, викривлення
C_5^S	механічне пошкодження носія, викликані зовнішнім середовищем, зовнішнім впливом електромагнітного поля
C_6^S	пошкодження носія і фонограми, викликані впливом власного електромагнітного поля
C_7^S	невраховані концепти, визначені умовами зберігання

Структуру модельованої системи РтаВФ, наведено на рис. 3.3.

Концептуальну модель процесу РтаВФ з урахуванням артефактів фонограми та застосування заходів щодо зменшення впливу їх на фонограму наведено на рис. 3.4.



Рисунок 3.3 - Структура модельованої системи РтаВФ

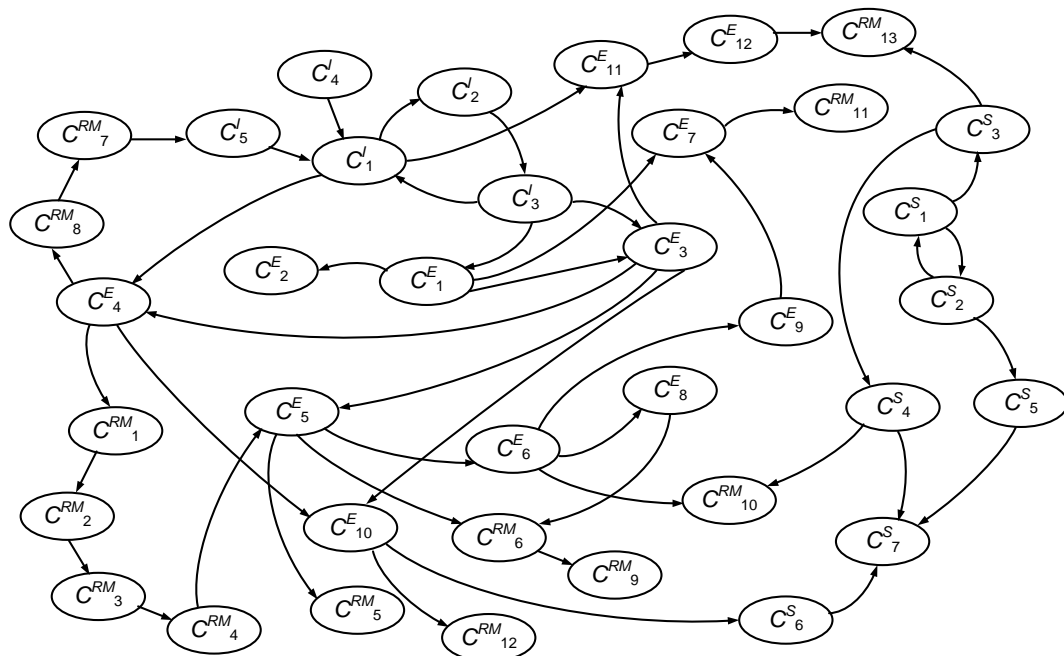


Рисунок 3.4 - Концептуальна модель процесу РтаВФ

Концептуальна модель процесу реставрації та відновлення звукових фонограм, що наведена на рис. 3.4, відображає концепти процесу РтаВФ та зв'язки

між окремими концептами процесу РтаВФ, що визначені технологічним процесом РтаВФ, умовами проведення реставраційних робіт, обладнанням та характеристиками й станом фонограм.

Як концепти моделі зазначено артефакти, що впливають на якість відреставрованої фонограми, і які визначаються людським фактором, умовами та апаратурою запису-відтворення фонограм, специфікою носія фонограми та умовами зберігання фонограми (табл. 3.3).

Концепти можуть зв'язуватись між собою послідовно, незалежно від інших, як, наприклад, концепти C^{RM}_1 , C^{RM}_2 , C^{RM}_3 , окремі концепти можуть бути кінцевими, як наприклад, C^{RM}_{11} , адже подальша реставрація фонограми при самознищенні інформації, або значного пошкодження її і неможливості відновлення не має сенсу.

Концепти можуть зв'язуватись між собою паралельно і залежні один від інших, як, наприклад, концепти C^E_3 , C^E_6 , C^I_1 та інші й вимагають для реалізації їх вирішення інших концептів, або додають в процес РтаВФ нові концепти.

Технологічний процес РтаВФ визначено окремими етапами з відповідною послідовністю виконання окремих операцій. Для покращення результатів РтаВФ деякі окремі операції можна змінювати, зменшувати або збільшувати їх кількість. А зміна технології РтаВФ може призвести до зміни кількості концептів, в даному випадку артефактів фонограм.

У разі відсутності окремого артефакту або незначного впливу його на якість фонограми і на процес РтаВФ у цілому в КМ можуть бути видалені окремі концепти і, відповідно, деякі зв'язки між концептами, що спрощує модель і як результат, зменшує час виконання реставраційних робіт й підвищує ефективність РтаВФ.

Так, наприклад артефакти, що визначаються зносом обладнання та апаратури, невідповідністю стандартів обладнання, що на моделі зазначені концептом C^E_3 , при застосуванні високоякісного стандартизованого, сучасного обладнання в ідеальному випадку не виникнуть, тобто, будуть відсутні. За наведеним рис.3.4 концептуальна модель значно спроститься – зменшиться на

один концепт і на шість хорд, що, в свою чергу, зменшить час виконання операцій РтаВФ і підвищить ефективність процесу.

Висновки за розділом 3

1. Розроблена модель є основою методології концептуального моделювання процесу РтаВФ після впливу артефактів, спричинених різними факторами. Запропонована структура концептуальної моделі РтаВФ забезпечує можливість поетапного видалення артефактів незалежно від типу множини концептів, що визначають артефакти, зумовлені технологією звукозапису. За цього підсистема прийняття рішень має бути налаштована з урахуванням вимог нормативних документів щодо якості звуковідтворення.

2. Напрямок подальших робіт є вдосконалення методики проведення процесу РтаВФ і математичної моделі узагальненої фонограми з визначенням особливостей технології в різних типах носіїв, а також дослідження можливостей використання рівня значимості концептів щодо покращення показників процесу РтаВФ.

3. Запропонована концептуальна модель процесу РтаВФ є підставою визначення методів і засобів для автоматизації процесу реставрації й підвищення ефективності реставраційних робіт з фонограмами, а також ефективності процесів РтаВФ.

4. Концептуальне моделювання вирішує такі задачі: побудову на основі концептуальної моделі сценарію виконання процесу РтаВФ, виявлення ситуаційних помилок процесу та динаміки зміни параметрів фонограм, дослідження можливих інструментальних засобів для підвищення параметрів фонограм і підвищення ефективності процесу РтаВФ.

5. Застосовуючи концептуальне моделювання процесу реставрації можна прогнозувати появу або відсутність окремих артефактів, зазначених як концепти, що супроводжують процес РтаВФ. А видалення несуттєвих окремих артефактів призведе до зменшення витрат часу на виконання технологічного процесу РтаВФ, що підвищує ефективність реставраційних робіт.

4 ОРГАНІЗАЦІЯ АПАРАТНО-СТУДІЙНОГО БЛОКУ ДЛЯ РЕСТАВРАЦІЇ АНАЛОГОВИХ ФОНОГРАМ

Сучасні способи реставрації аналогових фонограм передбачають електричний тракт формування сигналу фонограми для реставрації, а саме, фонограму відтворюють засобом відтворення, при цьому, сигнал перетворюють у цифровий вигляд і записують на цифровий носій або у пам'ять комп'ютера. Після цього з цим сигналом проводять реставраційні та відновлювальні роботи за допомогою відповідного ПЗ і формують остаточну відновлену фонограму у цифровому вигляді (рис. 4.1) [2,5,85,89].

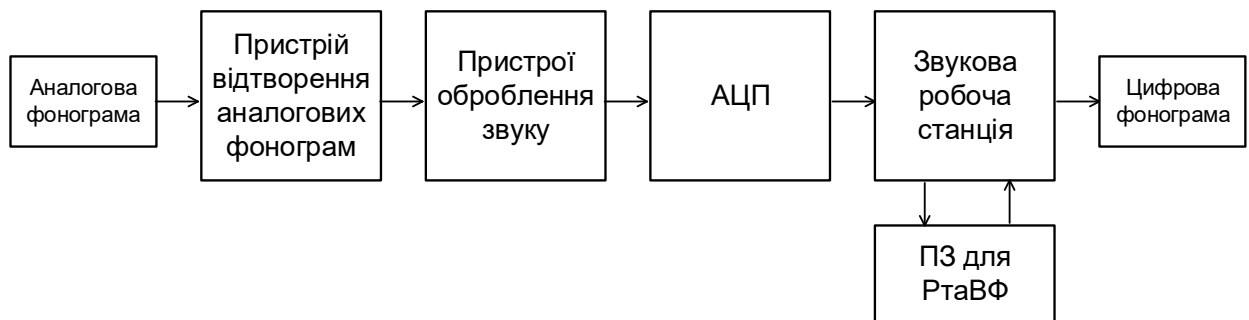


Рисунок 4.1 – Структура виконання реставраційних робіт із застосуванням електричного тракту формування фонограми

В даній роботі для виконання операцій реставрації та відновлення аналогових фонограм пропонується застосовувати метод акустичного відтворення аналогових фонограм з подальшим записом фонограми на цифрову робочу станцію, тобто, в реставраційних роботах застосовано електроакустичний тракт формування фонограми (рис. 4.2).

Для відтворення фонограм передбачено приміщення з необхідними акустичними умовами, що є раціональними і які можна змінювати залежно від відтворюваної фонограми, а саме – акустична камера. Для забезпечення відтворення фонограм передбачається технічна апаратура, також акустично оформлена відповідно до виконуваних задач проміжного контролю фонограм, і в якій встановлене все необхідне технологічне обладнання. Акустична камера і

технічна апаратна являють собою апаратно-студійний блок реставрації фонограм.

Методика виконання реставраційних та відновлювальних робіт передбачає відтворення аналогової фонограми в акустичній камері із застосуванням високоякісного звукотехнічного обладнання, високоякісних гучномовців, з раціональним рівнем гучності і, за необхідністю, з попереднім обробленням звучання за допомогою аналогових засобів – еквайзерів, шумознижувачів тощо.

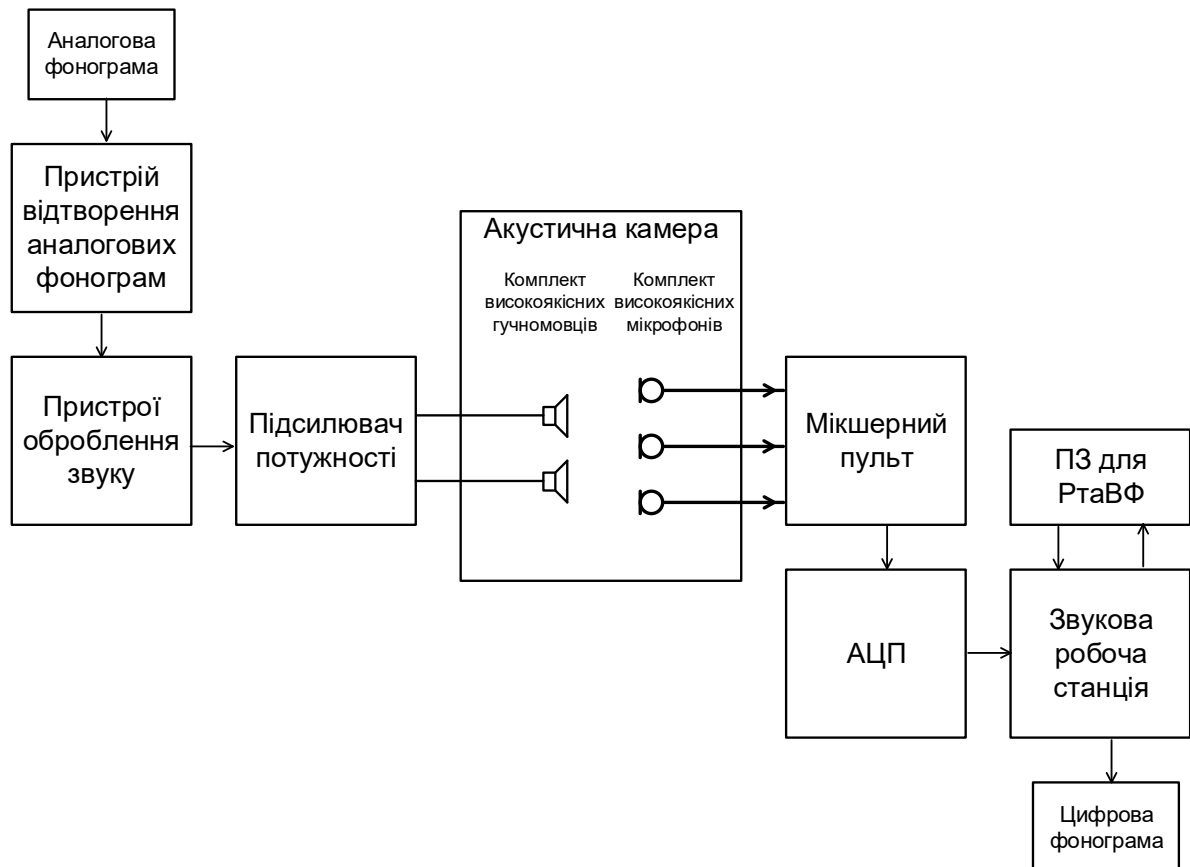


Рисунок 4.2 – Структура виконання реставраційних робіт із застосуванням електроакустичного тракту формування фонограми

Тим самим в акустичній камері формують акустичний звуковий сигнал з відповідної фонограми, що відповідає прийнятному сприйняттю цієї фонограми. Контроль звукових сигналів здійснюють суб'єктивно експерти та звукорежисер-реставратор безпосередньо в акустичній камері. Паралельно з суб'єктивним контролем здійснюють і об'єктивний контроль параметрів аналогової фонограми за допомогою спектроаналізатора, вимірювача рівня тощо.

Після встановлення відповідного звучання фонограми, її відтворюють і

сформований акустичний сигнал за допомогою високоякісних мікрофонів, встановлених у визначених точках приміщення і налаштованих на передбачуване звучання залежно від інформації на фонограмі, записується на цифрову звукову робочу станцію, формуючи тим самим цифрову фонограму. Цю цифрову фонограму спеціалізованим програмним забезпеченням піддають додатковій обробці і остаточно формують кінцевий варіант відреставрованої фонограми [99,100].

У разі неможливості неодноразового відтворення (програвання) фонограми, інформація з неї попередньо записують на аналоговий високоякісний магнітофон з мінімальними внесеними артефактами і відтворюють для налаштування оптимального звучання. Або, покладаючись на досвід звукорежисера, встановлюють необхідні налаштування. Якщо і це неможливо – застосовують тільки електричний тракт занесення інформації з фонограми на цифровий носій.

Апаратно-студійний блок (АСБ) реставрації та відновлення фонограм призначений для підготовки, виконання реставраційних та відновлювальних робіт аналогових фонограм й виробництва цифрових фонограм для застосування у ТРМ та мультимедіа.

Як інформаційну складову аналогових фонограм аналізують, в першу чергу, музику, музичні твори, мову, а також комбінації мови та музики як незалежно, так і у сукупності. Формат аналогових фонограм – монофонічний, стереофонічний, квадрофонічний.

АСБ РтаВФ містить акустичну камеру для формування акустичного сигналу відтворення аналогових фонограм та технічну апаратну для забезпечення відтворення аналогових фонограм та запису цифрових фонограм та виконання реставраційних робіт апаратними та програмними засобами [80].

В кожному приміщенні АСБ створені необхідні акустичні умови з можливістю корегування звукопоглинання за допомогою поворотних щитів з різними звукопоглинальними властивостями. Між приміщеннями АСБ передбачене переглядове акустичне звуконепроникне вікно.

Акустичні умови акустичної камери можливо змінювати залежно від

фонограми, її якості і стану, а також наявності артефактів. В акустичній камері передбачено виконувати запис акустичних сигналів через мікрофони. Акустична камера передбачає можливість проведення суб'єктивного контролю якості фонограм до та після виконання реставраційних робіт [81].

Один із варіантів акустичного налаштування акустичної камери наведено в додатку А. Форма приміщення акустичної камери прямокутна з подальшим встановленням звукопоглинальних конструкцій непаралельно протилежним поверхням.

В основі виконання реставраційних робіт із застосуванням запропонованого методу лежить методика електроакустичної обробки сигналів.

Для проведення реставраційних робіт із застосуванням наведеного електроакустичного методу виконано моделювання розрахунків електроакустичних процесів (рис. 4.3) та формування вимог до необхідних технічних характеристик сучасних засобів відтворення фонограм - гучномовців та мікрофонів [82].

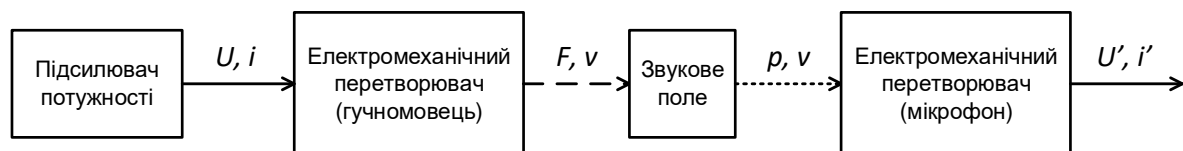


Рисунок 4.3 – Моделювання електроакустичних процесів в структурі спеціалізованої акустичної камери

Для реалізації вибраної технології з врахуванням розмірів акустичної камери запропоновано наступний алгоритм розрахунків необхідних параметрів [82]:

- для гучномовця:
- характеристична потужність P_x

$$P_x = P_{\text{ст}} 10^{\frac{L_1 - L_{E_x}}{10}}, \quad (4.1)$$

де $P_{\text{ст}}$ – електрична потужність, що відповідає потужності 1 Вт; L_1 – рівень

звукового сигналу на відстані 1 м від гучномовця; L_{Ex} – стандартний рівень чутливості;

- звуковий тиск p_l у мікрофона на відстані l м від гучномовця

$$p_l = \frac{p_1}{l}, \quad (4.2)$$

де p_1 – звуковий тиск на відстані 1 м від гучномовця;

- рівень звукового сигналу на відстані l м від гучномовця

$$L_l = 20 \lg \frac{p_l}{p_0}, \quad (4.3)$$

де p_0 – звуковий тиск, що відповідає порогу чутності, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па;

- сумарний звуковий тиск p_Σ на відстані l м від двох гучномовців, що встановлені на відстані d м один від одного при характеристичній потужності:

$$p_\Sigma = \sqrt{2p_l^2}, \quad (4.4)$$

де p_l – звуковий тиск у мікрофона на відстані l м від гучномовця;

- для мікрофона:

- стандартний рівень чутливості

$$N_{ct} = 20 \lg \frac{U_{ном}}{\sqrt{R_{ном} P_0}} = 20 \lg \frac{E_{ном}}{\sqrt{R_{ном} P_0}}, \quad (4.5)$$

де $U_{ном}$ – напруга на номінальному навантаженні, $E_{ном} = U_{ном}/(p_{зв} = 1 \text{ Па}) = U_{ном}/1 = U_{ном}$ – «номінальна» чутливість, $R_{ном}$ – номінальний опір навантаження, P_0 – потужність, що відповідає значенню $P_0 = 1$ мВт;

- рівень електричного сигналу N_m на виході мікрофона при звуковому тиску $p_{зв}$ буде становити:

$$N_m = 20 \lg \frac{U}{U_0} = 20 \lg \frac{E_{oc} \cdot p_{зв}}{U_0}, \quad (4.6)$$

де U – напруга на виході мікрофона, U_0 – напруга, що відповідає значенню $U_0 = 0,775$ В, E_{oc} – осьова чутливість мікрофона;

- звуковий тиск, що необхідно підвести до мікрофона, щоб отримати рівень електричного сигналу на виході мікрофона $N_m = 0$ дБ

$$P_{\text{зв } 0\text{дБ}} = \frac{U_0 \cdot 10^{N_m/20}}{E_{\text{ос}}} = \frac{0,775 \cdot 10^{0/20}}{E_{\text{ос}}} = \frac{0,775}{E_{\text{ос}}} \quad (4.7)$$

де U_0 – напруга, що відповідає значенню $U_0=0,775$ В, $E_{\text{ос}}$ – осьова чутливість мікрофона, N_m - рівень електричного сигналу на виході мікрофона;

- динамічний діапазон мікрофона

$$D = L_{\text{тр}} - L_{\text{ш}}. \quad (4.8)$$

де $L_{\text{тр}}$ – максимальний рівень акустичного сигналу, що сприймає мікрофон при визначеному значенні нелінійних спотворень, $L_{\text{ш}}$ – рівень власних шумів мікрофона, приведений до акустичного шуму.

Один із варіантів розрахунку електроакустичних параметрів мікрофонів та гучномовців наведено в додатку А.

Висновки за розділом 4

Виконання реставраційних і відновлювальних робіт з аналоговими фонограмами як і для запису нових фонограм вимагає наявності спеціалізованих приміщень і високоякісного обладнання.

1. Наведені розробка і методика обчислення акустичних умов приміщення – спеціалізованої акустичної камери для виконання реставраційних робіт і для суб'єктивного контролю якості фонограм ілюструють ефективність запропонованих класифікацій, моделей та методів.

2. Удосконалений електроакустичний метод виконання реставраційних робіт з розрахунками електроакустичних параметрів застосовуваних мікрофонів та гучномовців показав підвищення якості відновленої фонограми.

3. Завдяки використанню спеціалізованої акустичної камери і відповідної технології проведення РтаВФ з суб'єктивним контролем фонограм забезпечило створення зручних і сприятливих умов для проведення реставраційних робіт за критеріями акустичних умов та контролю фонограм, що покращує якісні показники відреставрованої фонограми.

4. Наведений акустичний розрахунок приміщення акустичної камери (Додаток Б) з одним із варіантів акустичних умов ілюструє процедури

запропонованої методики. Акустичні умови приміщення за необхідністю можуть бути змінені при проведенні реставрації фонограм з різними технічними показниками.

5. Використання розробленої методики розрахунку електроакустичних параметрів мікрофонів і гучномовців спрощує процедуру вибору необхідного обладнання та умови проведення реставрації із застосуванням електроакустичного методу, що теж забезпечить можливість покращення якісних характеристик реставрації.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОНОГРАМ РІЗНИХ НОСІЇВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЛАГІНІВ, ВСТАНОВЛЕНИХ У ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ

Реально, при виконанні РтаВФ суб'єктивний контроль фонограми охоплює прослуховування на необхідній гучності звукового контенту з аналізом на слух таких показників - наявність і рівень сприйняття шумів і завад як артефактів фонограм в порівнянні з корисним сигналом; наявність і рівень сприйняття спотворень сигналу як специфічних хрипів і тремтіння в звучанні; тембральне забарвлення звучання як наявність НЧ і ВЧ складових; прозорість звучання джерел звуку як розбірливість мовного сигналу і як розпізнаваність музичного інструменту, просторовість звучання і стереофонічну складову звукового образу в цілому, а також часові співвідношення як функції кореляції і автокореляції [92,94].

Тому основними критеріями якості фонограм при суб'єктивному оцінюванні можна обрати: завади і шуми різної структури, частотна характеристика або тембр, розбірливість і вірність звучання джерел, просторовість і стереофонія. Всі ці критерії в процесі РтаВФ підлягають корекції, одні в меншу, інші в більшу сторону.

Реально, об'єктивний оперативний контроль вимагає проведення контролю 1) форми сигналу (сигналограма), 2) рівня сигналу з використанням індикаторів рівня, 3) АЧХ сигналу з використанням спектроаналізатора, 4) фазових співвідношень між сигналами лівого і правого каналів стереосигналу з використанням фазометра, 5) динамічного діапазону, RMS рівня сигналу і рівневих параметрів сигналу з використанням статистичних панелей тощо.

За формою сигналу, що відображається в головному вікні будь-якої програми, що працює зі звуком, можна візуально визначити середній рівень, піки сигналів, наявність кліпування, паузи, корисний сигнал, часові параметри фрагментів фонограми, випадання сигналу, наявність деяких артефактів фонограми [91].

Узагальнено, основними критеріями якості фонограм при об'єктивному оцінюванні під час проведення реставраційних та відновлювальних робіт з фонограмами, які можуть бути визначені в оперативному режимі, можна назвати: рівень сигналу і артефакту, АЧХ сигналу і артефакту, динамічний діапазон, фазові співвідношення між стереоканалами.

Індикатор рівня дозволяє вимірювати середній рівень і піковий рівень сигналу як корисного, так і артефактів, в реальному часі. Рівень сигналу при піках не повинен перевищувати 0 дБ, а середній рівень - максимум значення пік-фактора для відповідних звукових програм (в середньому, -12 ...- 24 дБ). Рівень шумів і інших артефактів фонограми повинен бути якомога менше, не вище -60 дБ, що приблизно відповідає порогу чутності шуму при відповідному акустичному рівні відтворення фонограми. За допомогою індикатора рівня можна обчислити відношення сигнал/шум як різницю рівнів сигналу і шуму

$$K_{C/Ш}=N_{\text{сигн}} - N_{\text{шум}}, \text{ дБ}, \quad (5.1)$$

вимірюючи рівень сигналу в місці максимального рівня корисного сигналу і в паузі, наприклад, між фрагментами фонограми.

Дослідженню підлягають параметри фонограм одного музичного фрагменту, розміщених на компакт-диску, грамплатівці, магнітній плівці у бобині та магнітній плівці у касеті. Фонограми були перенесені з відповідних носіїв за допомогою програми Sound Forge у режимі запису у комп'ютерне середовище, тобто виконано аналого-цифрове перетворення сигналу з відповідного носія і досліджено окремі параметри цих сигналів, а саме: рівень сигналів, рівень шумів носіїв в місці паузи перед корисним сигналом, спектр шуму носія і фонограми уцілому тощо.

Як музичний фрагмент обрано Boogie Wonderland у виконанні ансамблю Earth, Wind & Fire. Звуковий фрагмент являє собою музичну форму в більшості з електромузичними інструментами, багатоголосим вокалом, стиль фанк. Запис зроблено у 1979 р.

Фонограми створені власноруч, а саме – записані з компакт-диска на відповідний носій (крім грамплатівки, грамплатівка - оригінал, відштампований

у 1979 р. на Manufactured by CBS Record Canada LTD). Параметри АЦП відповідають параметрам формату CD-audio (розширення - .wav, частота дискретизації - 44,1 кГц, розрядність 16 біт).

Як носії магнітних фонограм обрано: магнітну стрічку типу MEK1 (γ -Fe₂O₃), що розміщена у бобіні – BASF LP35 та магнітну стрічку типу MEK1 (γ -Fe₂O₃), що розміщена у касеті – Sony HF 90.

Запис і відтворення магнітних фонограм здійснювалось із застосуванням високоякісного напівпрофесійного бобінного магнітофона «Електроника-004К Стерео» на швидкості 19,05 см/с та високоякісного напівпрофесійного касетного магнітофона AKAI GX-75mkII.

Відтворення грамофонної платівки здійснювалось з програвача PIONEER PL-500X з електромагнітним звукознімачем Ortofon FF15E MkII.

В результаті дослідження відповідними програмними засобами визначено рівень шуму носія; спектр (АЧХ, амплітудно-частотна характеристика) шуму носія; середній рівень звукового фрагменту; спектр (АЧХ) звукового фрагменту; гістограма шуму носія; гістограма звукового фрагменту.

Етапи проведення дослідження:

1. Формування тестових фонограм. Запис фонограм з компакт диску на відповідні носії. Вибір грамплатівок з відповідними звуковими фрагментами.

2. Суб'єктивна оцінка якості звучання фонограм з різних носіїв при однаковому рівні звуковідтворення (80 дБ).

3. Переведення фонограм з аналогової форми у цифровий (мультимедійний) вигляд. Запис фонограм на комп'ютер здійснюється через апаратний інтерфейс Audio Genie II, що має входні рознімачі RCA, а вихідний USB, а також регулятор рівня запису. Як ПЗ для запису застосовано Sound Forge [95].

4. Вимірювання параметрів сигналу за допомогою програмних засобів – спектроаналізатор, вимірювач рівня. Вимірюванню підлягають усереднені параметри сигналів паузи, ділянки фонограми з найбільшим та найменшим насиченням звучань. Результати заносяться у відповідну таблицю. Як результати дослідження надаються скріншоти вікон відповідних ПЗ. Для дослідження

сигналів застосовані ПЗ Sound Forge та Adobe Audition із вбудованими вимірювальними засобами [95-100].

В процесі проведення експериментального дослідження введено коефіцієнт, що визначає співвідношення сигнал/артефакт, який визначає в даній роботі ефективність виконання реставраційних робіт

$$K_{C/A} = \frac{A_C}{A_A}, \quad (5.2)$$

де A_C – значення параметру сигналу, A_A – значення параметру артефакту. Як параметр сигналу може бути рівень сигналу, нерівномірність АЧХ, коефіцієнт спотворень, частотний діапазон або будь-який інший параметр, що характерний для сигналу і який може бути змінений за рахунок наявності відповідного артефакту.

В роботі, як приклад застосування співвідношення сигнал/артефакт розглядається рівень звукового сигналу і рівень завад, характерних для відповідного носія фонограми

$$K_{C/A} = N_{\text{сигн}} - N_{\text{арт}}, \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

де $N_{\text{сигн}}$ – значення рівня сигналу фонограми, дБ, $N_{\text{арт}}$ – значення рівня завад фонограми.

На рис. 5.1...5.9 наведено скріншоти головних вікон ПЗ Sound Forge та Adobe Audition з вимірювальними засобами.

5.1 Скріншоти сигналотрам у Sound Forge

В роботі послідовність скріншотів за носієм встановлена така:

- 1) компакт-диск;
- 2) грамплатівка;
- 3) магнітна плівка у бобині BASF LP35;
- 4) магнітна плівка у касеті Sony HF 90.

Дослідження форми сигналотрам та рівня шумів носія сигналотрам перед музичним фрагментом на відповідному носії наведено на рис. 5.1. Фрагменти під

час АЦП нормалізовані до рівня -1 дБ.

За даними дослідження форми сигналів на відповідному носії – форма сигналів майже однакова. Для грамплатівки при визначеному масштабуванні сигналів візуально можливо визначити артефакти носія та більш насичена щільність сигналів.

За даними дослідження рівня шумів перед музичним фрагментом сигналів на відповідному носії за допомогою вимірювача рівня сигналу VU/PPM ПЗ Sound Forge – рівень сигналу на компакт-диску за даних умов масштабування вимірювачем не визначено, тобто він менше у звуковому діапазоні ніж -78 дБ.

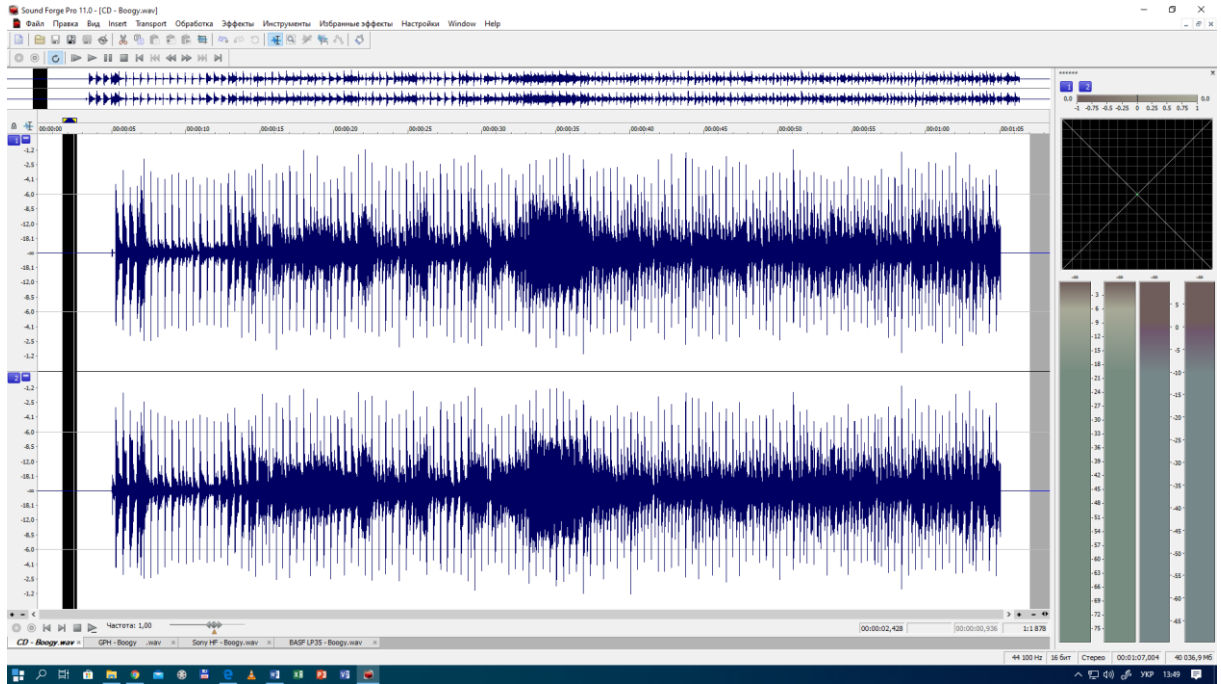
Для грамплатівки середній рівень шуму складає за вимірювачем PPM приблизно -36 дБ, причому пікові значення артефактів носія (кляцань) досягають приблизно -9 дБ.

Магнітний носій у бобіні характеризує постійний шум з середнім значенням приблизно -55 дБ, причому пікові значення майже не відрізняються від середнього (різниця 1 дБ).

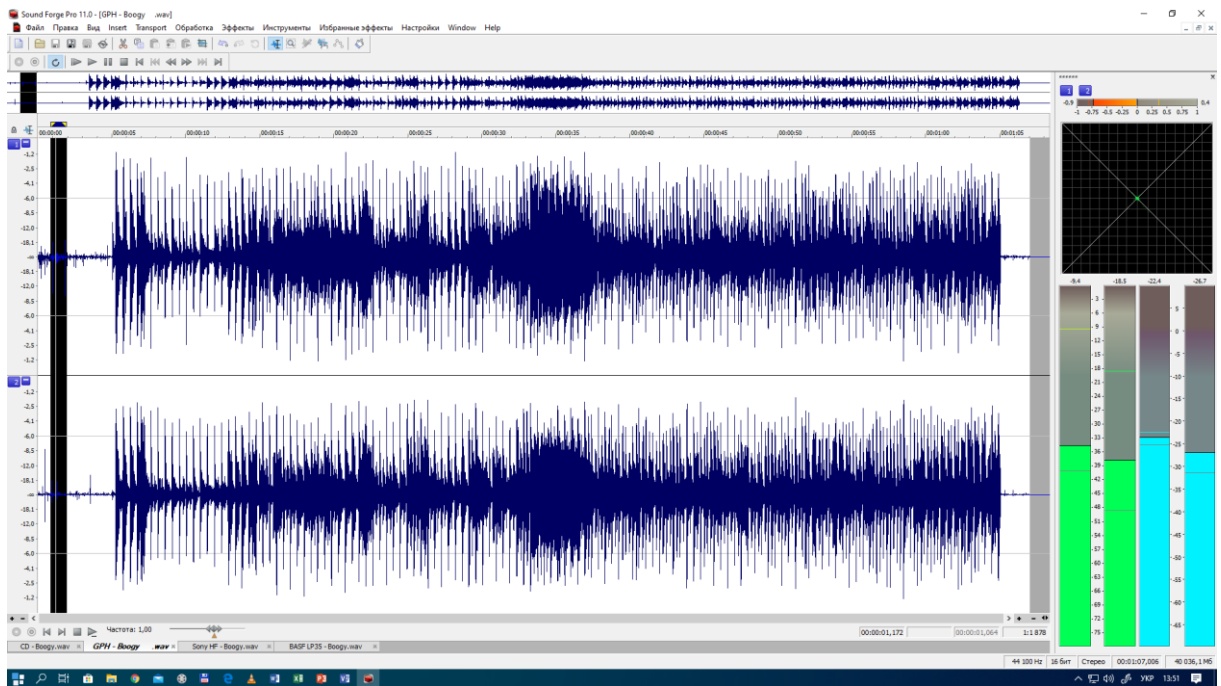
Для магнітного носія у касеті рівень шуму більший, ніж у бобіні, і складає за вимірювачем PPM приблизно -46 дБ, причому пікові значення артефактів носія відрізняються від середніх на 2 дБ.

Дослідження спектру сигналів на відповідних носіях із застосуванням програмного модуля Sound Forge Spectrum Analysis наведено на рис. 5.2.

За даними дослідження спектру сигналів на відповідному носії за допомогою спектроаналізатора ПЗ Sound Forge – форма спектру (АЧХ) сигналів майже однакова. Для грамплатівки візуально можливо визначити артефакти носія, створеного рокот-шумом, а саме – збільшення рівня НЧ-складових та рівня сигналу по всьому частотному діапазоні, а також звужений частотний діапазон, приблизно, до 18 кГц.

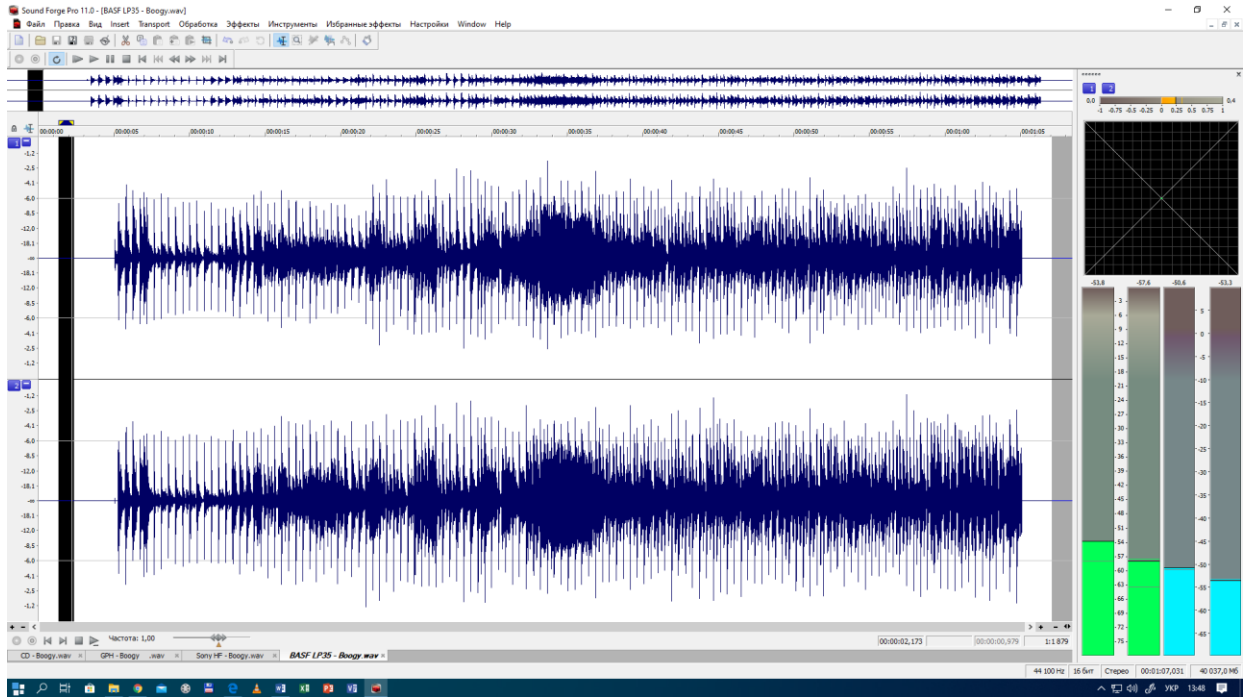


а

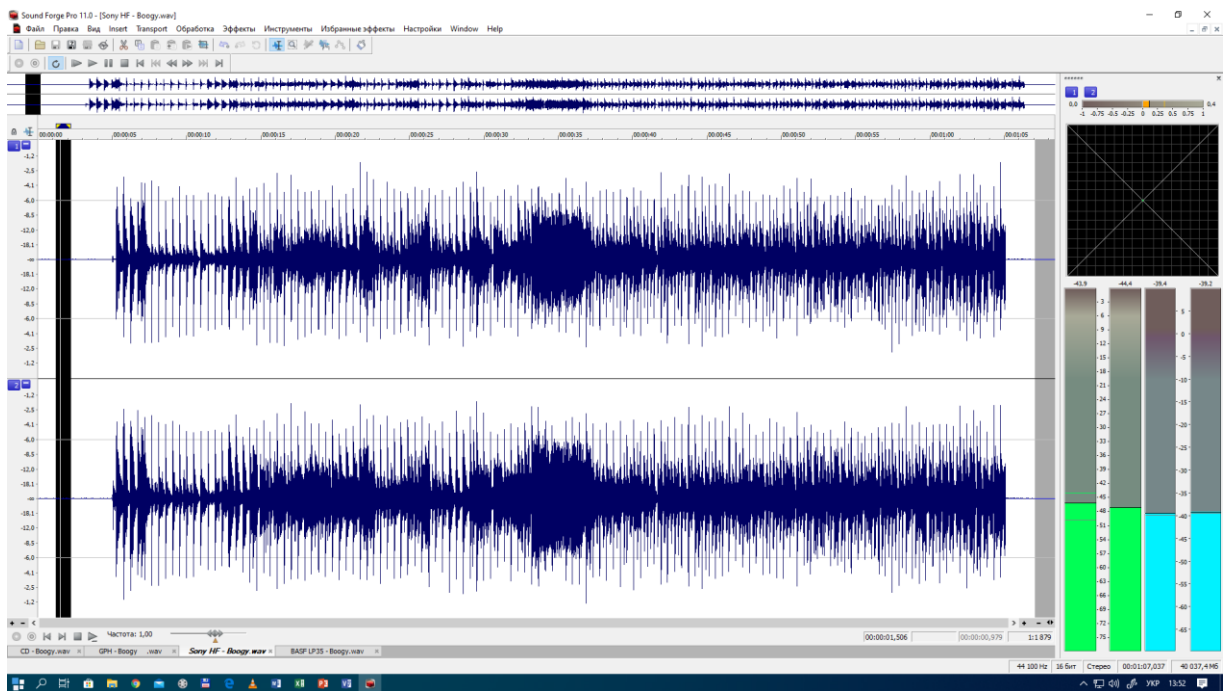


б

Рисунок 5.1 – Зображення головного вікна програми Sound Forge з формою досліджуваної сигналограми та рівнем завад на різних носіях, що відображає вбудований індикатор рівня: а - компакт-диск; б - грамплатівка; в - магнітна плівка у бобіні BASF LP35; г - магнітна плівка у касеті Sony HF 90

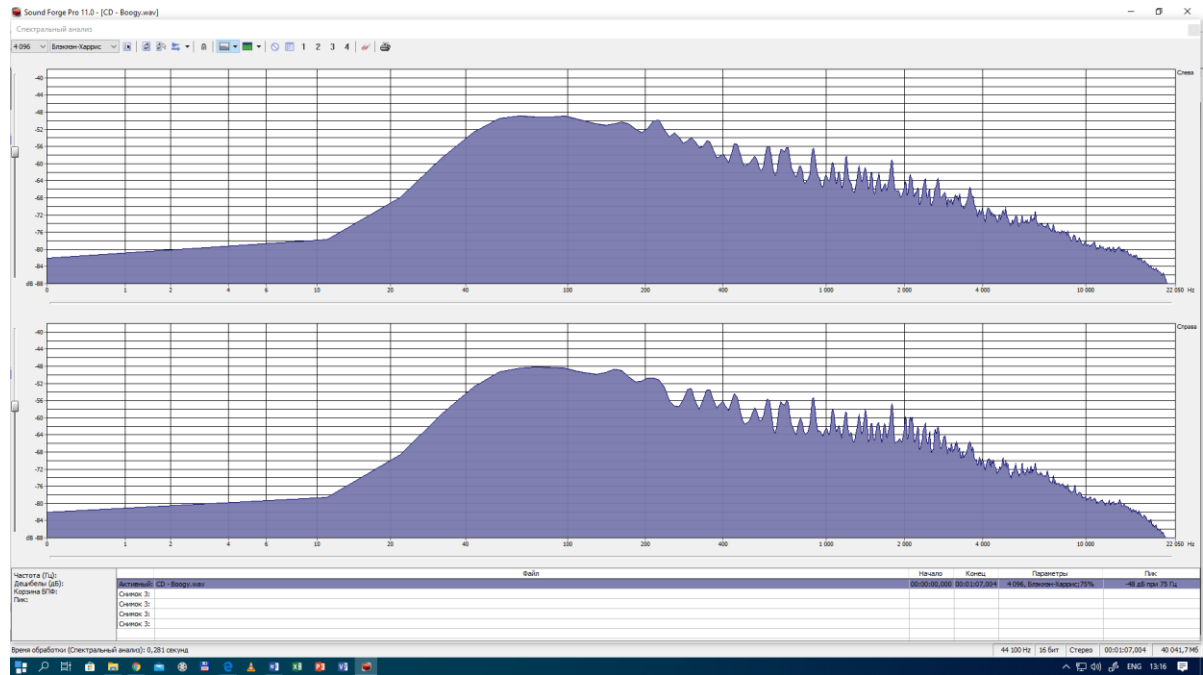


В

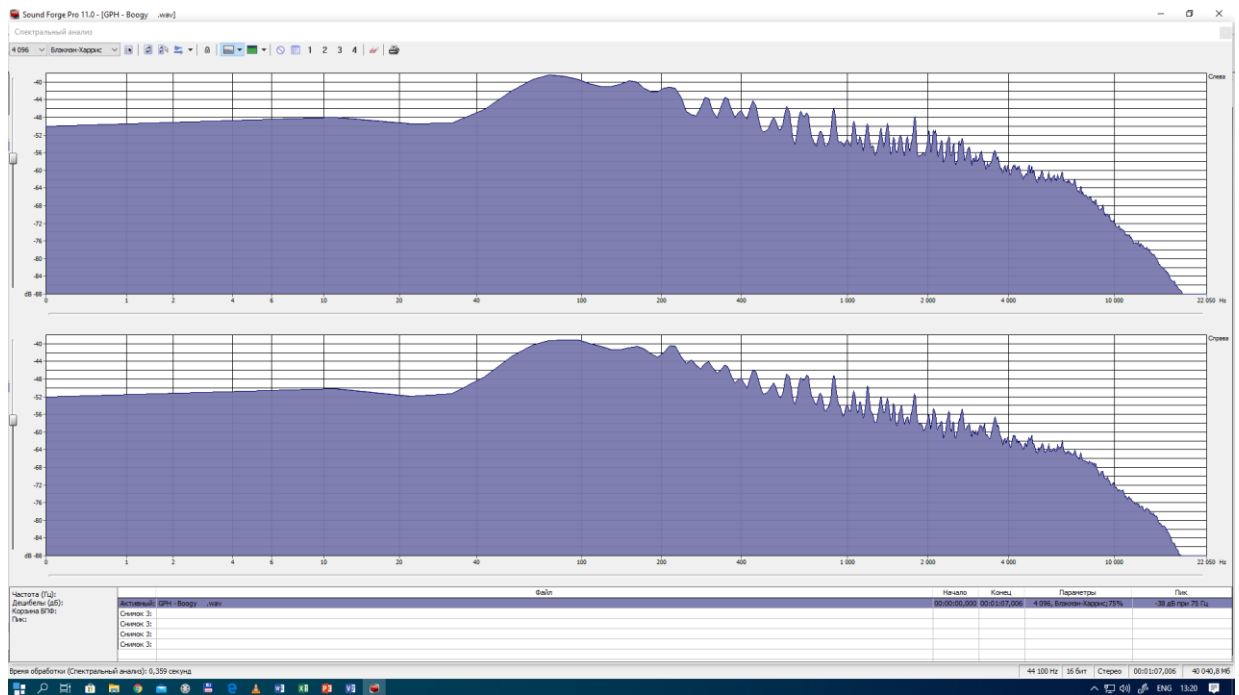


Г

Продовження рис. 5.1

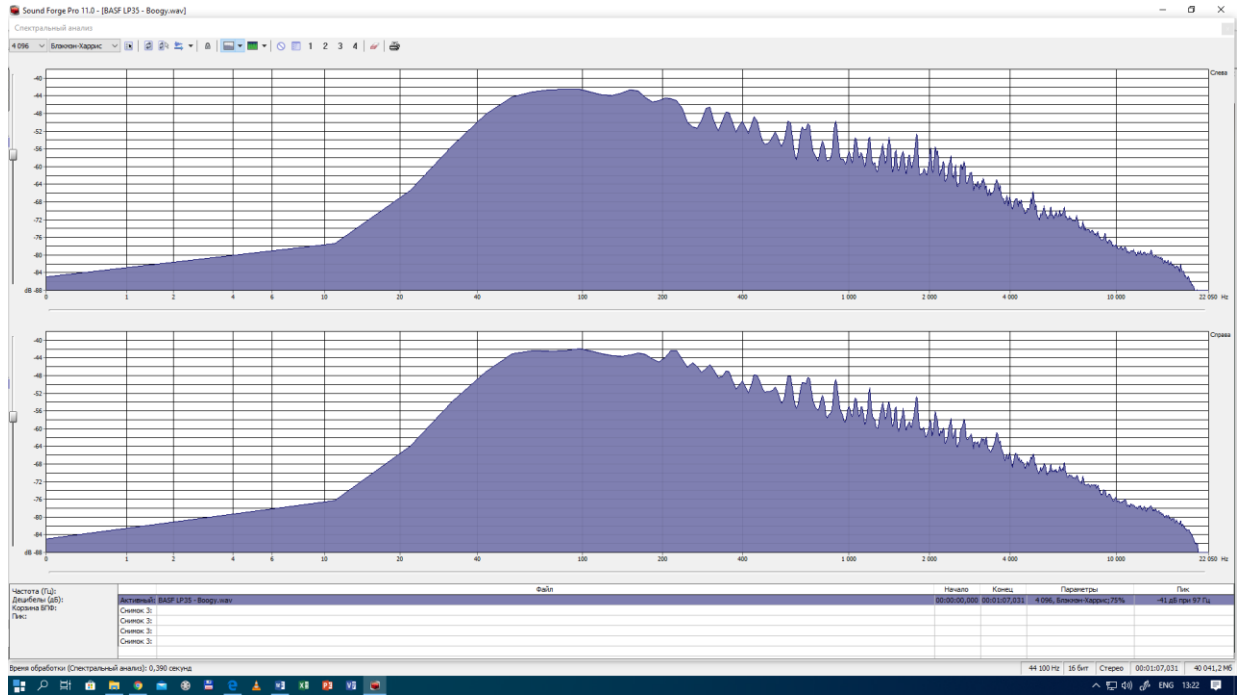


а

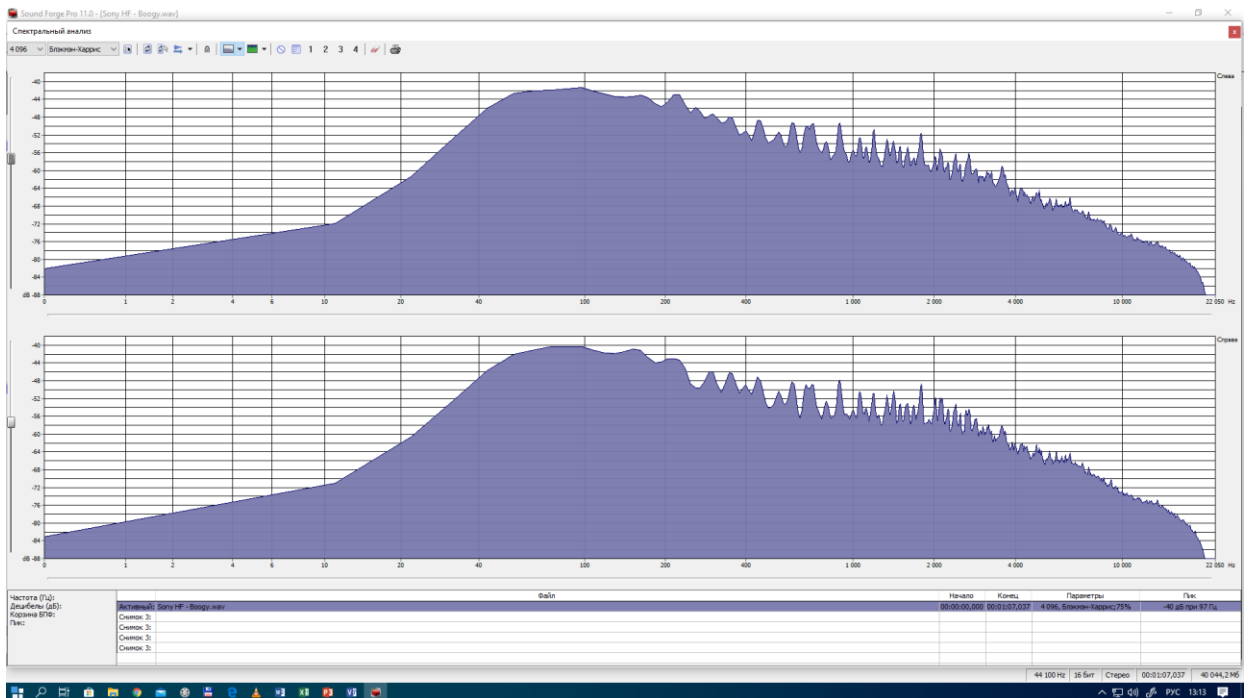


б

Рисунок 5.2 – Зображення вікна модуля спектроаналізатора програми Sound Forge для фонограми на різних носіях: а - компакт-диск; б - грамплатівка; в - магнітна плівка у бобіні BASF LP35; г - магнітна плівка у касеті Sony HF 90



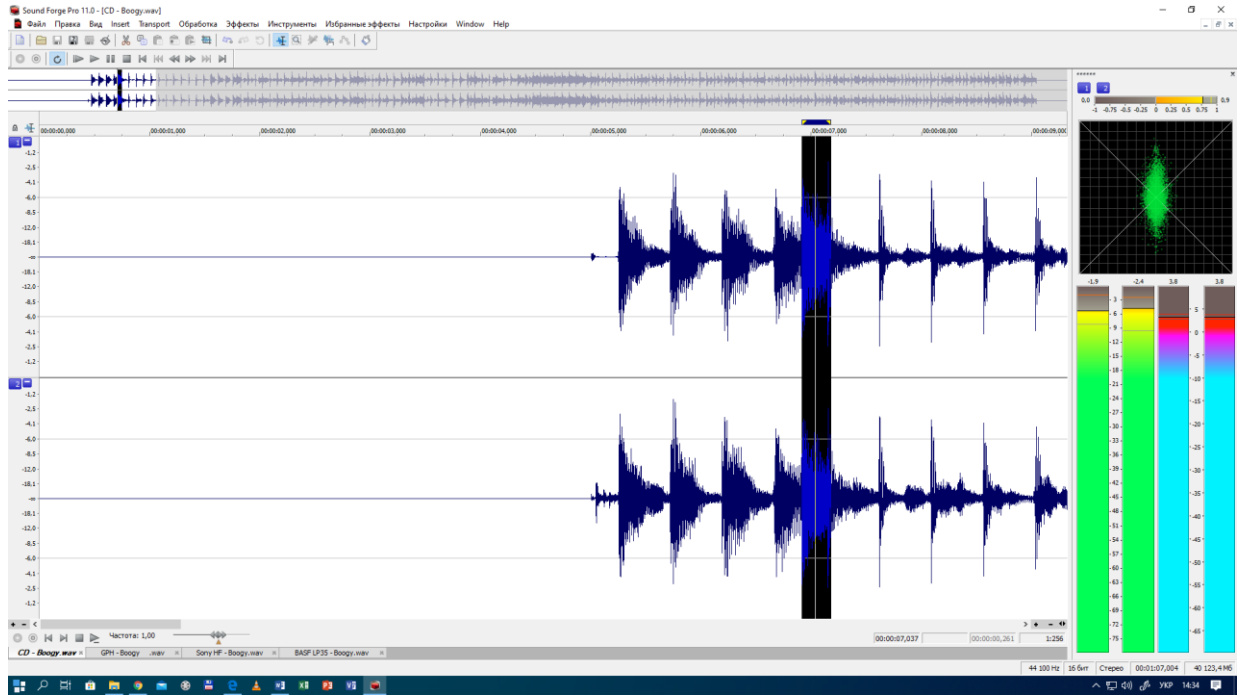
В



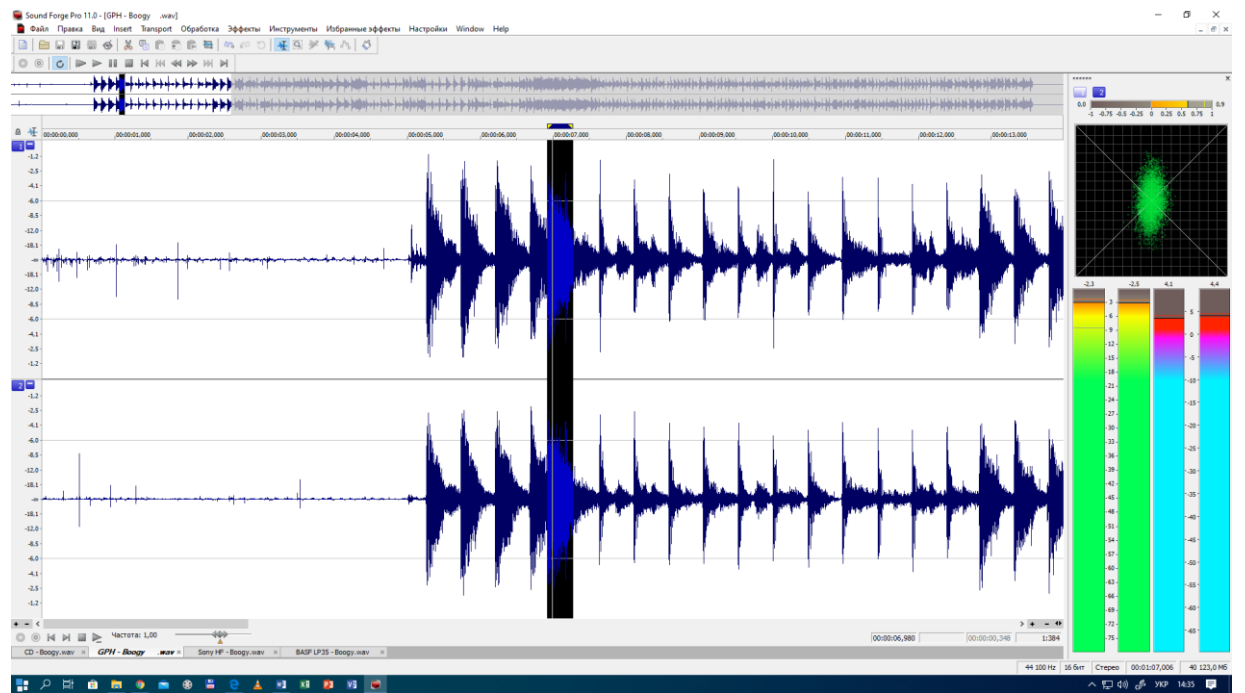
Г

Продовження рис. 5.2

Результати дослідження рівня сигналу частини музичного фрагменту на відповідних носіях наведено на рис. 5.3. Взята одна і та ж ділянка музичного фрагменту та визначено рівень сигналу.

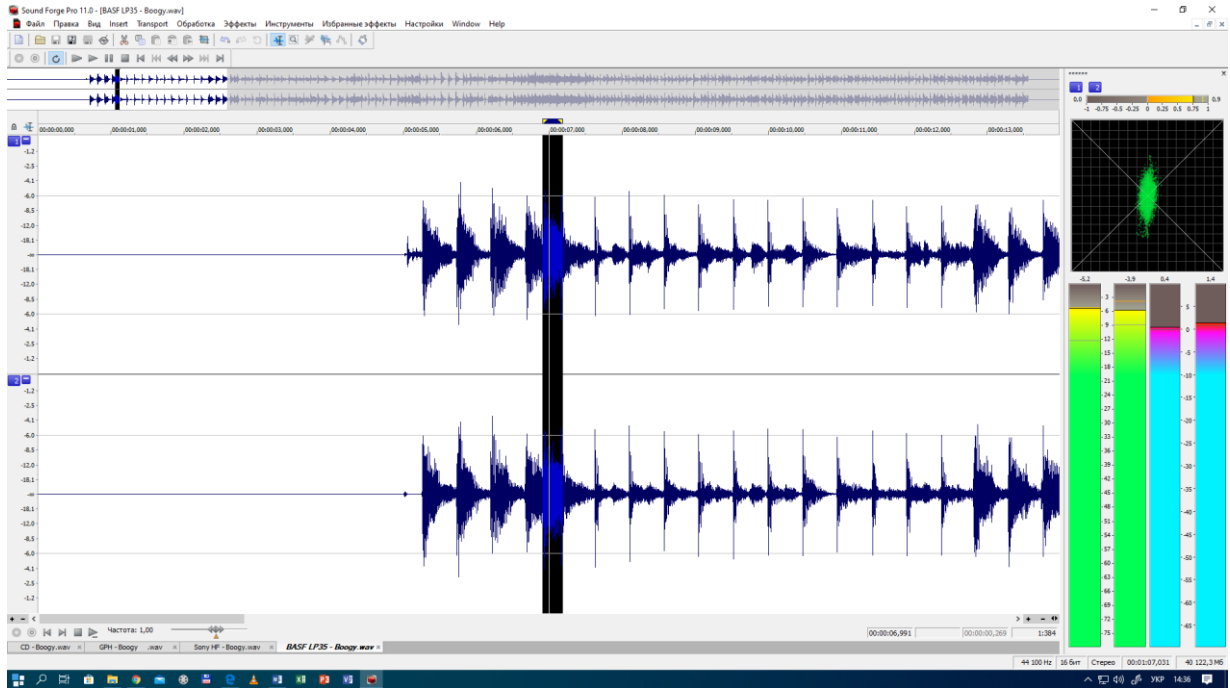


а

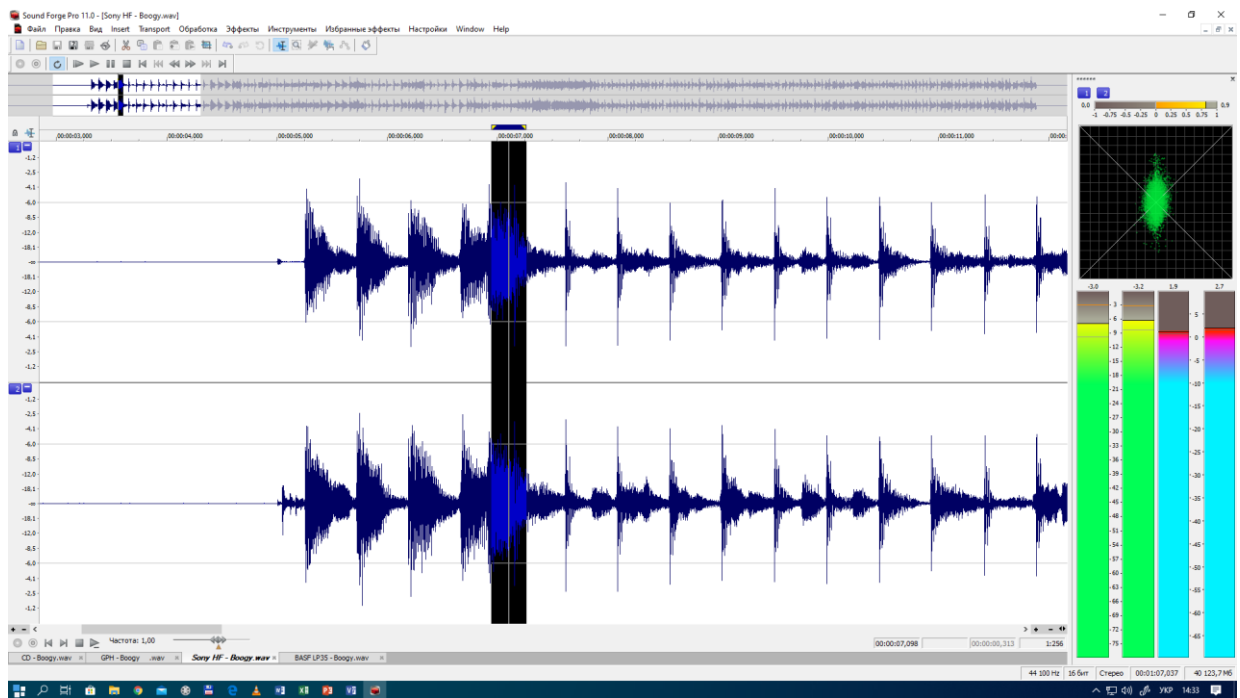


б

Рисунок 5.3 – Зображення головного вікна програми Sound Forge з формою досліджуваної сигналограми на різних носіях та рівнем сигналу, що відображається вбудованим індикаторами рівня: а - компакт-диск; б - грамплатівка; в - магнітна плівка у бобіні BASF LP35; г - магнітна плівка у касеті Sony HF 90



В



Г

Продовження рис. 5.3

За даними дослідження рівня сигналу ділянки музичного фрагменту за сигналограмою на відповідному носії за допомогою вимірювача рівня сигналу VU/PPM ПЗ Sound Forge – рівень сигналу на компакт-диску за даних умов масштабування вимірювачем становить приблизно -5 дБ з піками до приблизно

-2 дБ. Для грамплатівки середній рівень сигналу музичного фрагменту складає за вимірювачем RRM приблизно -3 дБ, причому пікові значення досягають приблизно -2 дБ. Магнітний носій у бобіні характеризується рівнем з середнім значенням приблизно -6 дБ, а пікові значення досягають -4 дБ. Для магнітного носія у касеті рівень сигналу досягає приблизно -6 дБ, а піковий рівень досягає -3 дБ.

5.2 Скріншоти сигналотрам у Adobe Audition

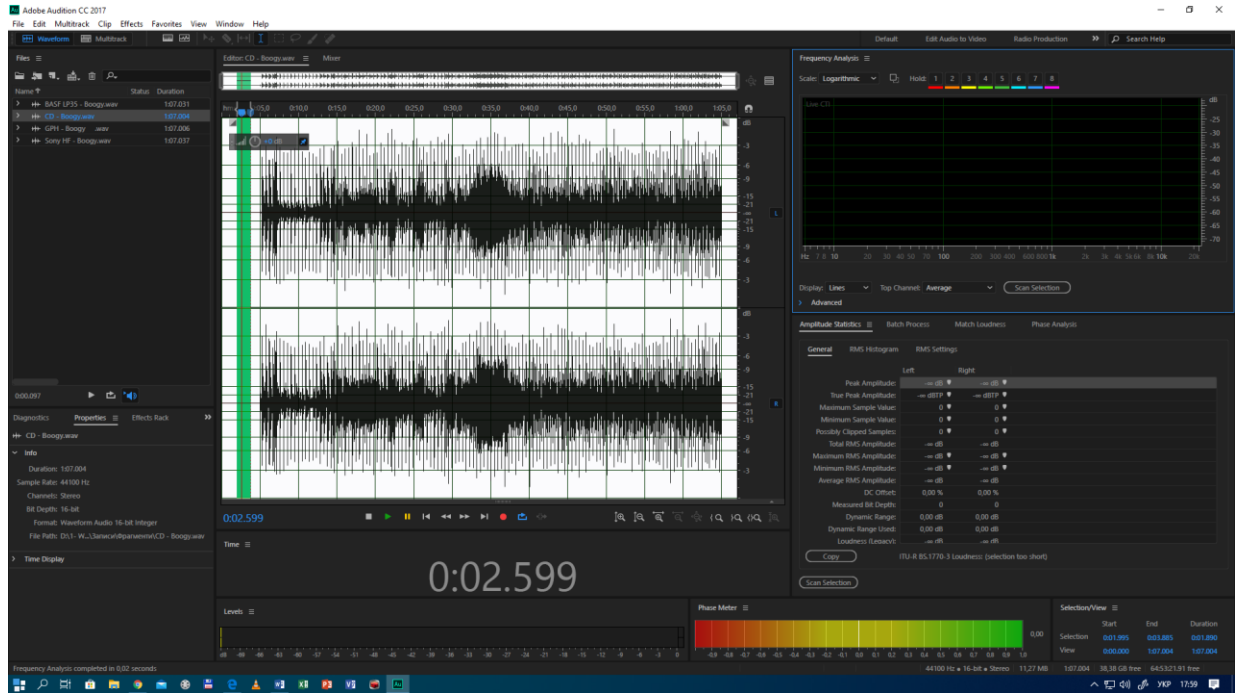
Скріншоти в ПЗ Adobe Audition шумів перед фрагментом наведено на рис. 5.4.

Головне вікно ПЗ Adobe Audition має можливість відображати форму самої сигналотрами, спектр фонограми за допомогою спектроаналізатора Frequency Analysis, рівень сигналу за допомогою вимірювача рівня Levels, числові значення амплітудних параметрів сигналу за допомогою підвікна Amplitude Statistics, фазові співвідношення між каналами за допомогою підвікна Phase Meter, а також деякі параметри ЦАП [97,98].

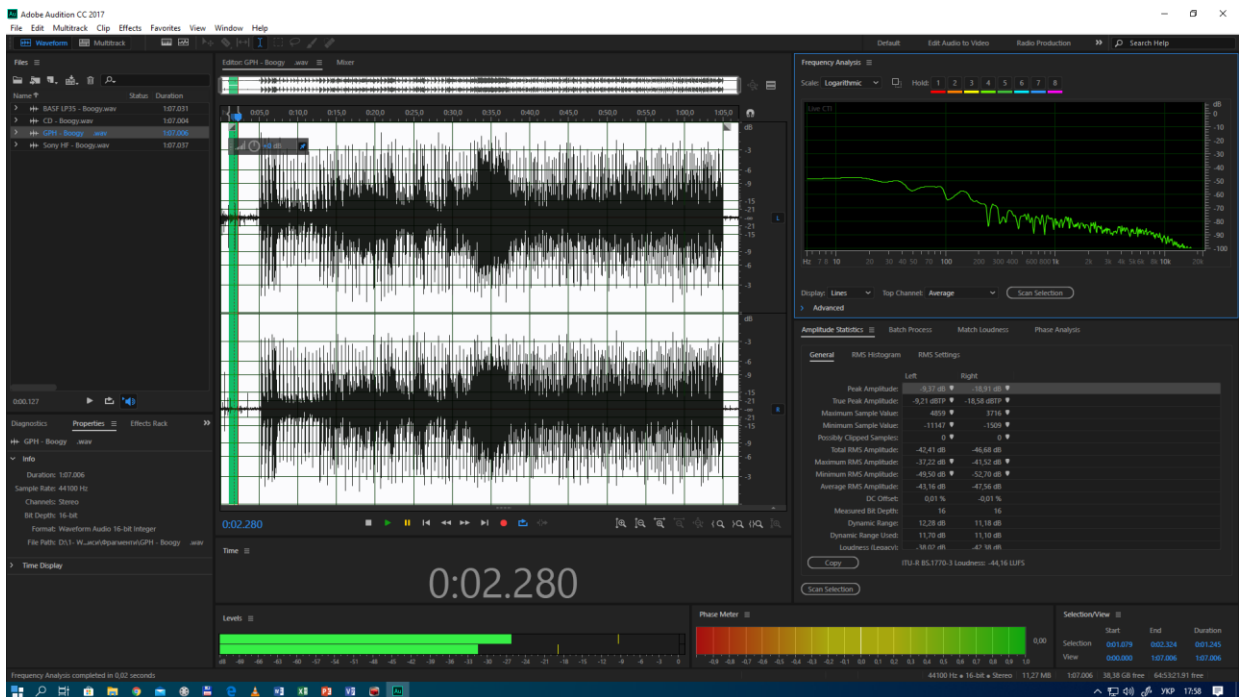
За даними дослідження параметрів шумів перед музичним фрагментом сигналотрами на відповідному носії за допомогою вимірювальних засобів ПЗ Adobe Audition можна зазначити такі дані:

- для компакт-диску рівень сигналу шуму та спектр шуму за даних умов масштабування вимірювачів не визначено, числовими значеннями зазначено як «мінус нескінченність»;

- магнітний носій у бобіні характеризує постійний шум з середнім значенням приблизно -56 дБ, причому пікові значення відрізняються від середнього приблизно на 2 дБ. Спектр шуму носія достатньо широкосмуговий і визначено рівнем у всьому діапазоні не вище -70 дБ. Динамічний діапазон шуму складає приблизно 4 дБ;

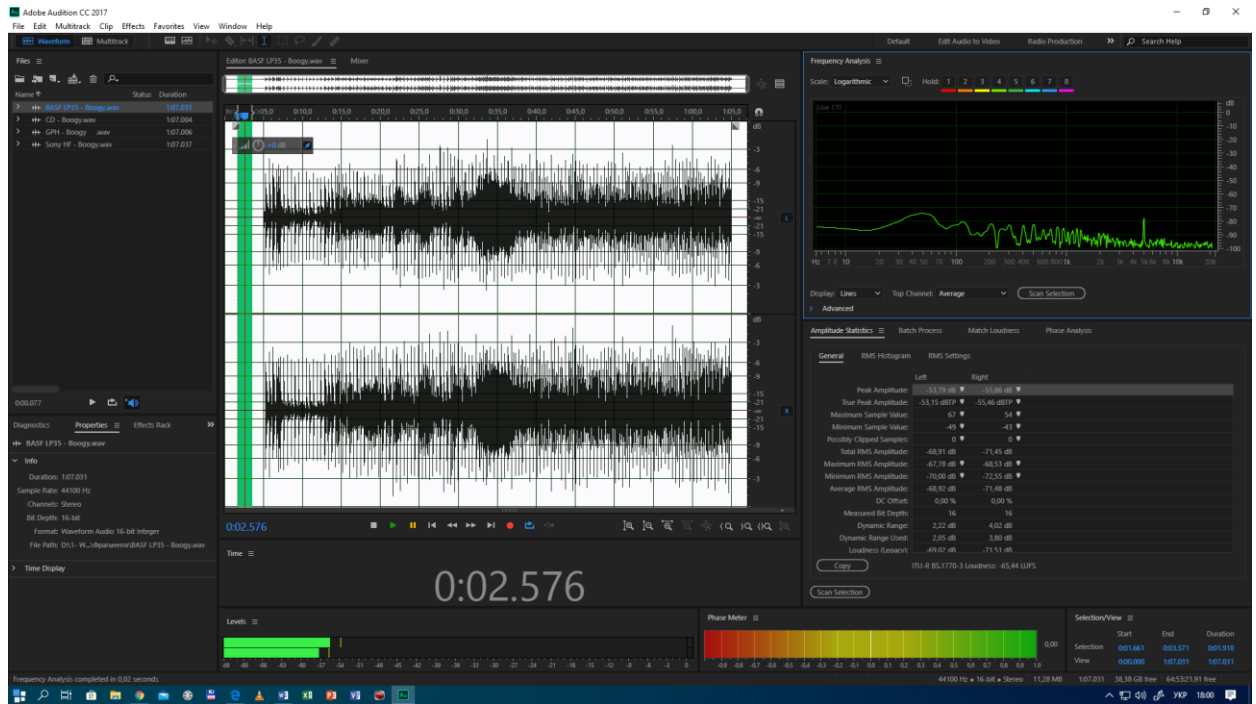


а

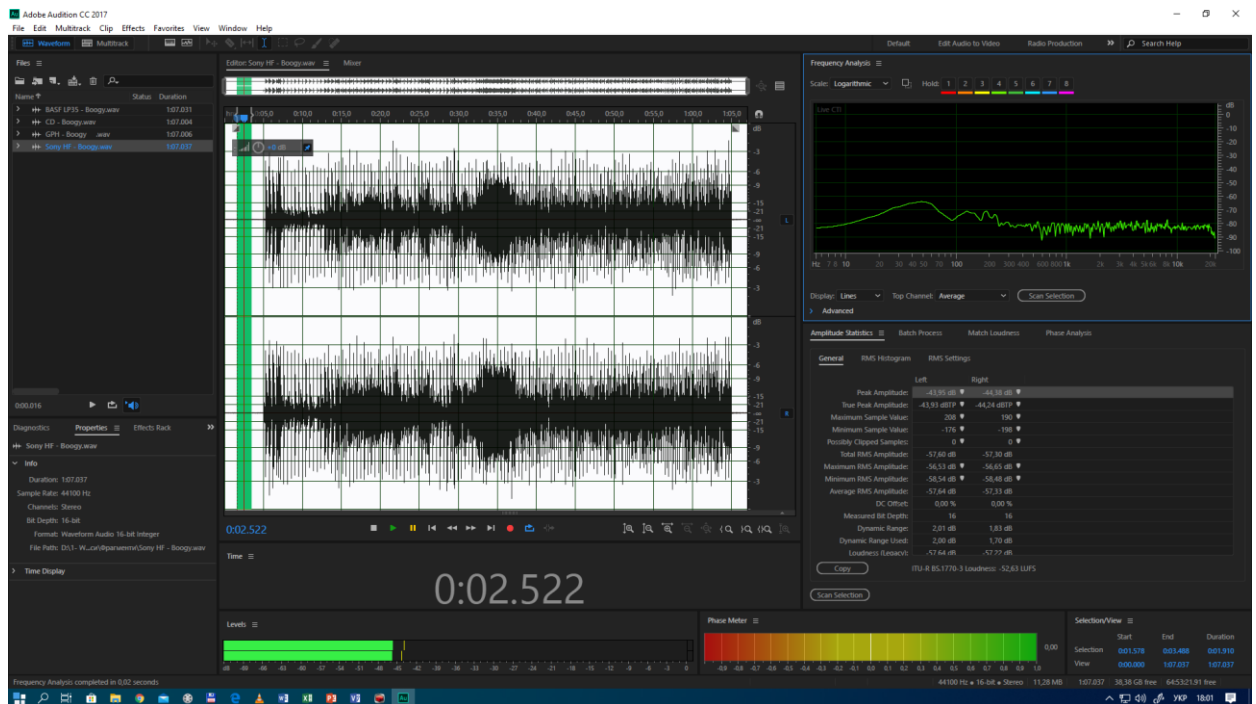


б

Рисунок 5.4 – Зображення головного вікна програми Adobe Audition з формою досліджуваної сигналограми на різних носіях, рівнем сигналу завад, що відображають вбудовані індикатори рівня, АЧХ сигналу завад, що відображає вбудований спектроаналізатор та даних статистики амплітудних параметрів завад: а - компакт-диск; б - грамплатівка; в - магнітна плівка у бобіні BASF LP35; г - магнітна плівка у касеті Sony HF 90



B



Г

Продовження рис. 5.4

- для грамплатівки середній рівень шуму складає за вимірювачем PPM для одного з каналів приблизно -26 дБ, а для іншого – -31 дБ, причому пікові значення артефактів носія (кляцання) досягають приблизно -9 дБ для одного з каналів і -19

дБ для іншого, що відображає як індикатор рівня, так і дані числових значень у вікні амплітудної статистики. Спектр шуму носія достатньо широкосмуговий, причому на низьких частотах (до 40 Гц) досягає -45...-50 дБ, до 200 Гц - -55 дБ...-60 дБ, а вище 200 Гц рівень шуму складає менше -70 дБ. Динамічний діапазон шуму складає приблизно 12 дБ;

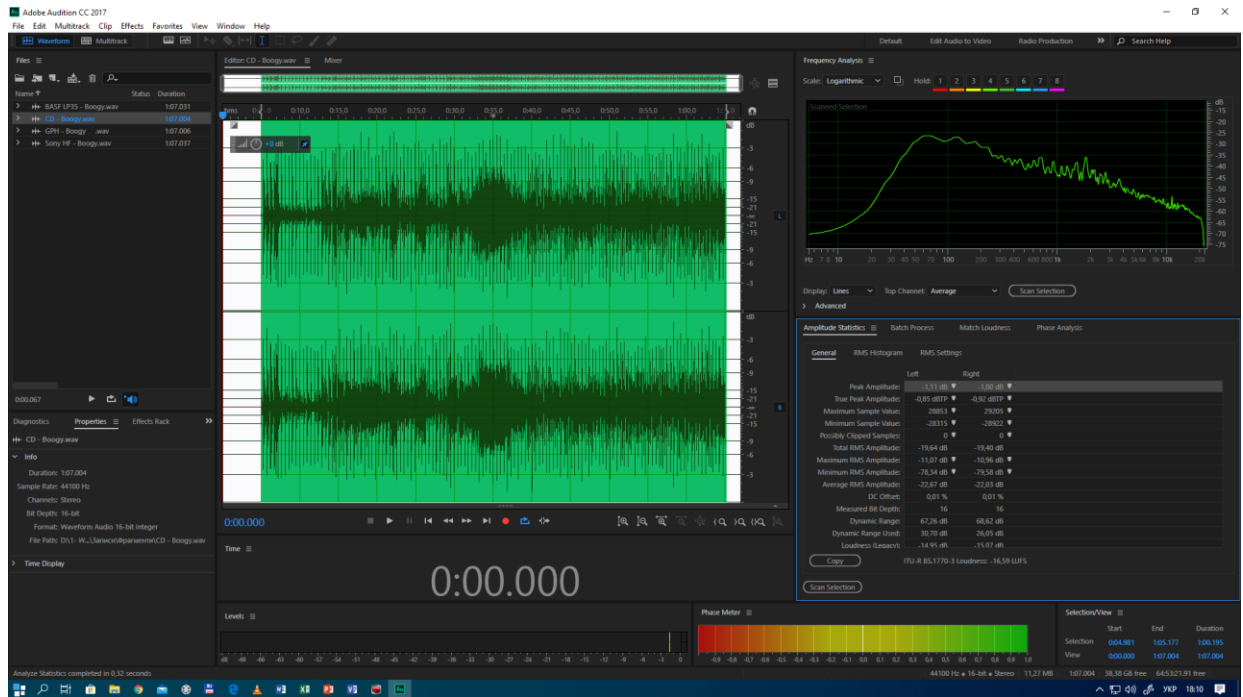
- для магнітного носія у касеті рівень шуму більший, ніж у бобіні, і складає за вимірювачем PPM приблизно -46 дБ, причому пікові значення артефактів носія відрізняються від середніх на 2 дБ. Спектр шуму носія достатньо широкосмуговий і визначено рівнем у всьому діапазоні не вище -70 дБ, лише на частотах 20...60 Гц досягає рівня -60 дБ. Динамічний діапазон шуму складає приблизно 2 дБ.

Скріншоти Adobe Audition всього музичного фрагменту наведено на рис. 5.5.

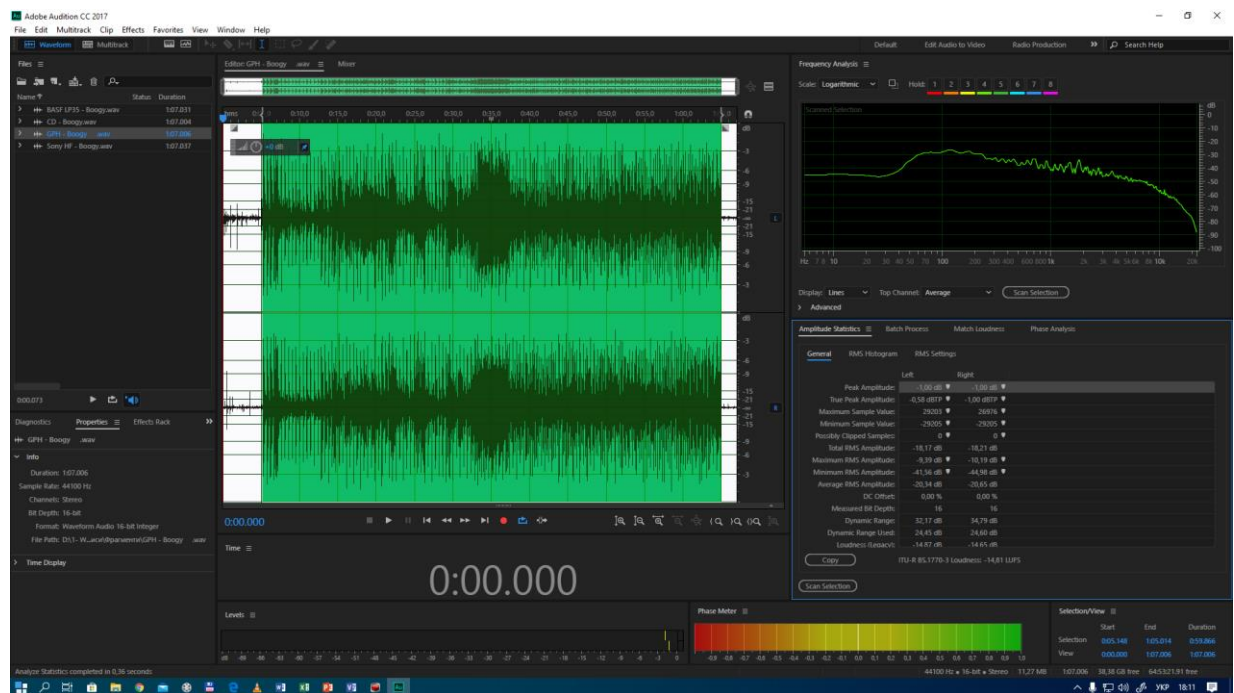
За даними дослідження параметрів музичного фрагменту сигналограми на відповідному носії за допомогою вимірювальних засобів ПЗ Adobe Audition можна зазначити такі дані:

- для компакт-диску рівень сигналу звукового музичного фрагменту уцілому за даними підвікна амплітудних значень визначає пікове значення приблизно -1 дБ, повне середньоквадратичне значення рівня приблизно -19 дБ, динамічний діапазон 30 дБ. Частотний діапазон з нерівномірністю 36 дБ (від -27 до -63 дБ) складає 20...20000 Гц, помітно плавний спад рівня сигналу з -27 до -63 дБ з флуктуаціями в межах 5...8 дБ;

- для грамплатівки рівень сигналу складає за даними амплітудної статистики для пікових значень приблизно -1 дБ, повного середньоквадратичного значення рівня приблизно -18 дБ, динамічний діапазон 33 дБ. Спектр сигналу більш лінійний у діапазоні 20...8000 Гц, нерівномірність 20 дБ, після 10 кГц помітний достатньо різкий спад до -80 дБ на частоті 20 кГц. Флуктуації АЧХ в межах 3...5 дБ;

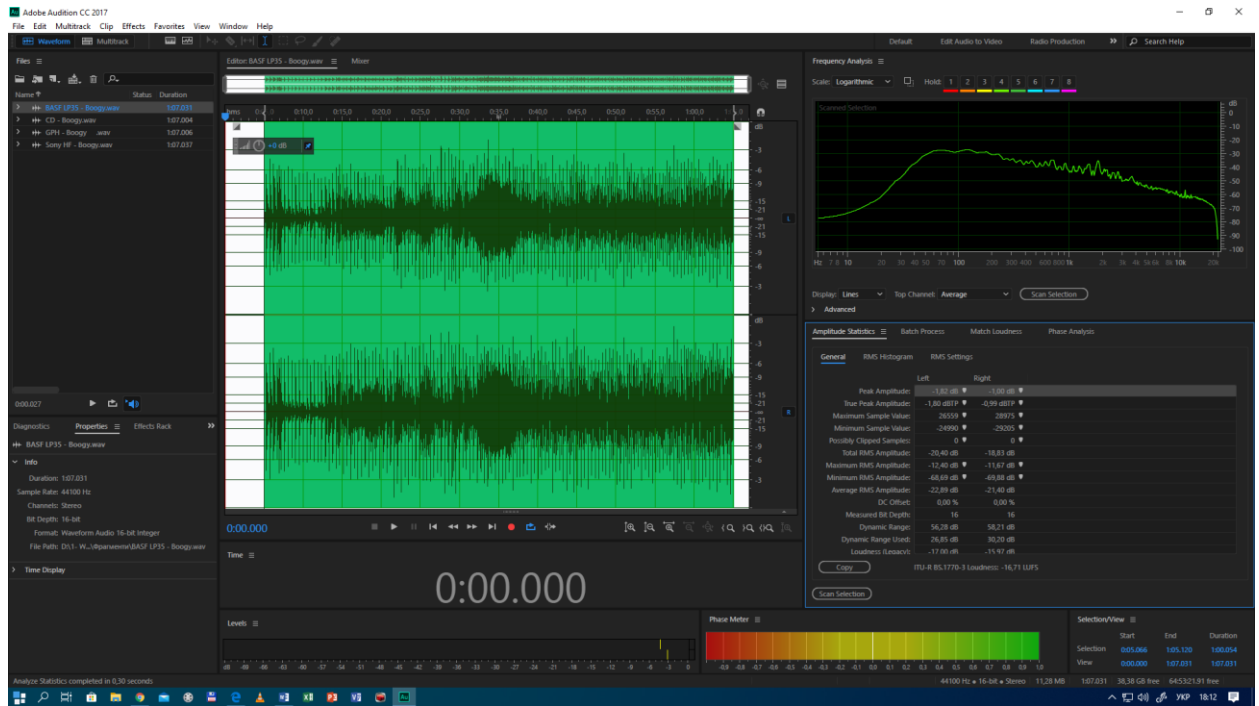


а

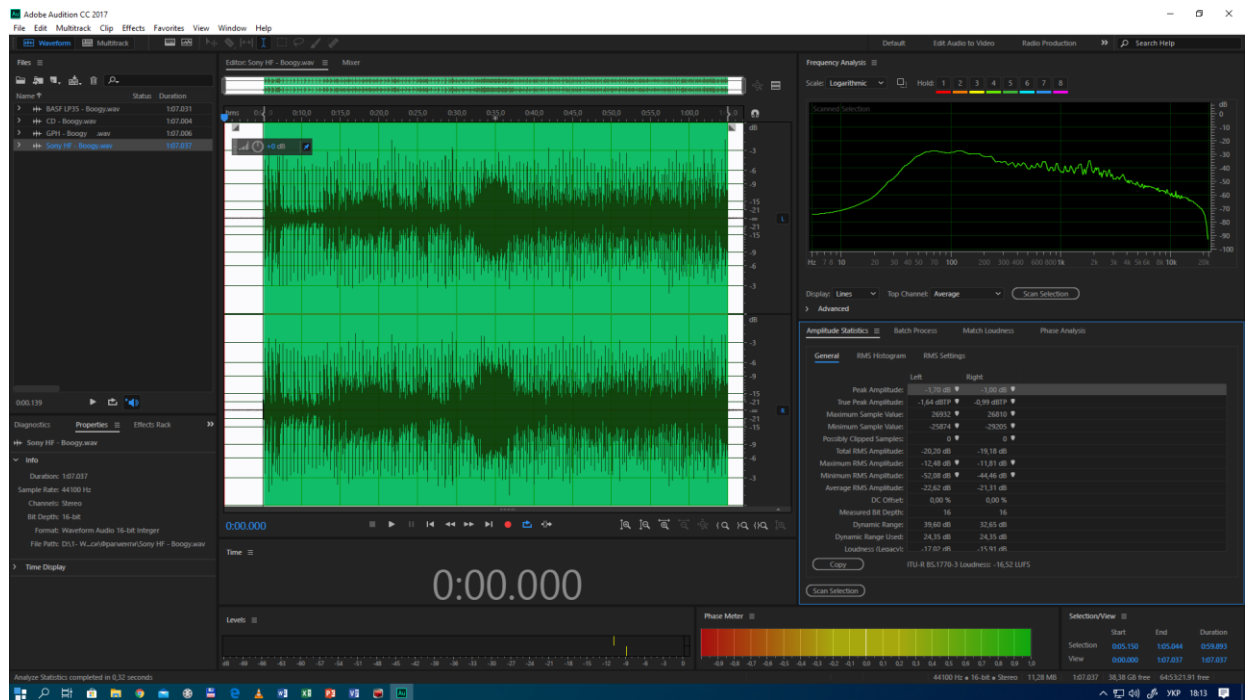


б

Рисунок 5.5 – Зображення головного вікна програми Adobe Audition з формою досліджуваної сигналограми на різних носіях, рівнем інформаційного сигналу, що відображає вбудований індикатор рівня, АЧХ сигналу завад, що відображає вбудований спектроаналізатор та дані статистики амплітудних параметрів сигналу: а - компакт-диск; б - грамплатівка; в - магнітна плівка у бобіні BASF LP35; г - магнітна плівка у касеті Sony HF 90



B



Г

Продовження рис. 5.5

- магнітний носій у бобіні характеризують рівнем сигналу звукового музичного фрагменту уцілому за даними підвікна амплітудних значень піковим значенням приблизно -1 дБ, повним середньоквадратичним значенням рівня

приблизно -20 дБ, динамічним діапазоном 57 дБ. Частотна характеристика з флуктуаціями в межах 2...6 дБ має спадання, починаючи з частоти 50 Гц до частоти 18 кГц приблизно 5 дБ/октава, частотний діапазон з нерівномірністю 37 дБ (від -28 до -65 дБ) складає 20...20000 Гц;

- для магнітного носія у касеті рівень сигналу складає за даними амплітудної статистики для пікових значень приблизно -1,3 дБ, повного середньоквадратичного значення рівня приблизно -20 дБ, динамічний діапазон приблизно 36 дБ (середнє для двох каналів). Частотна характеристика з флуктуаціями в межах 2...6 дБ має спадання, починаючи з частоти 50 Гц до частоти 18 кГц приблизно 5 дБ/октава, частотний діапазон з нерівномірністю 44 дБ (від -28 до -72 дБ) складає 20...20000 Гц.

АЧХ інформаційного сигналу фонограми та шумів перед фрагментом для різних носіїв наведені на рис. 5.6.

Червоний колір графіка – компакт-диск.

Жовтий колір графіка – грамплатівка.

Блакитний колір графіка – стрічка у бобіні BASF.

Фіолетовий колір графіка – стрічка у касеті Sony.

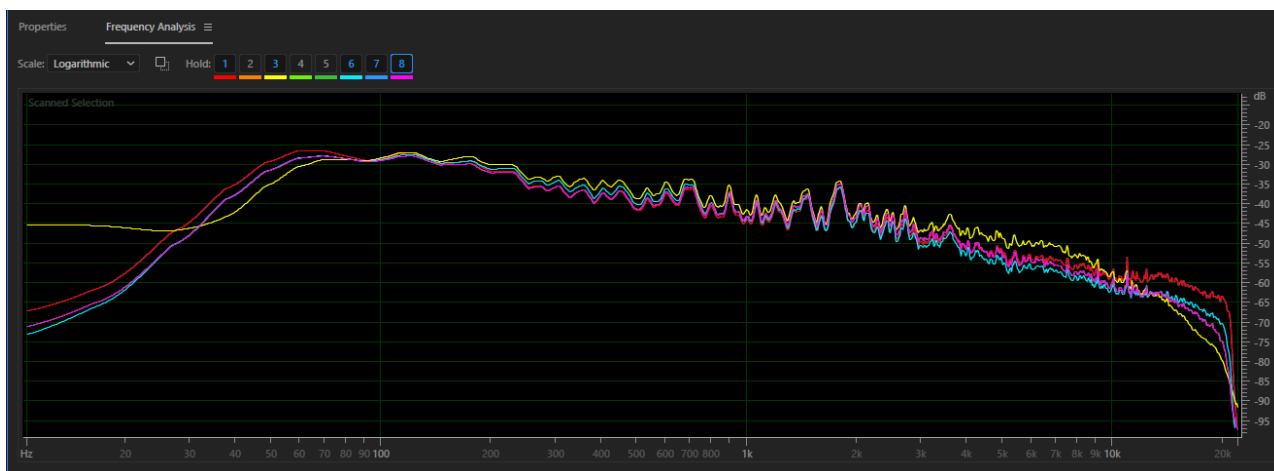
На рис. 5.7 наведено зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ сигналу (блакитний) та завади (червоний) грамплатівки, а також гістограма рівнів сигналу на грамплатівці.

На рис. 5.8 наведено зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ сигналу (блакитний) та завади (червоний) компакт-диска, а також гістограма рівнів сигналу на компакт диску.

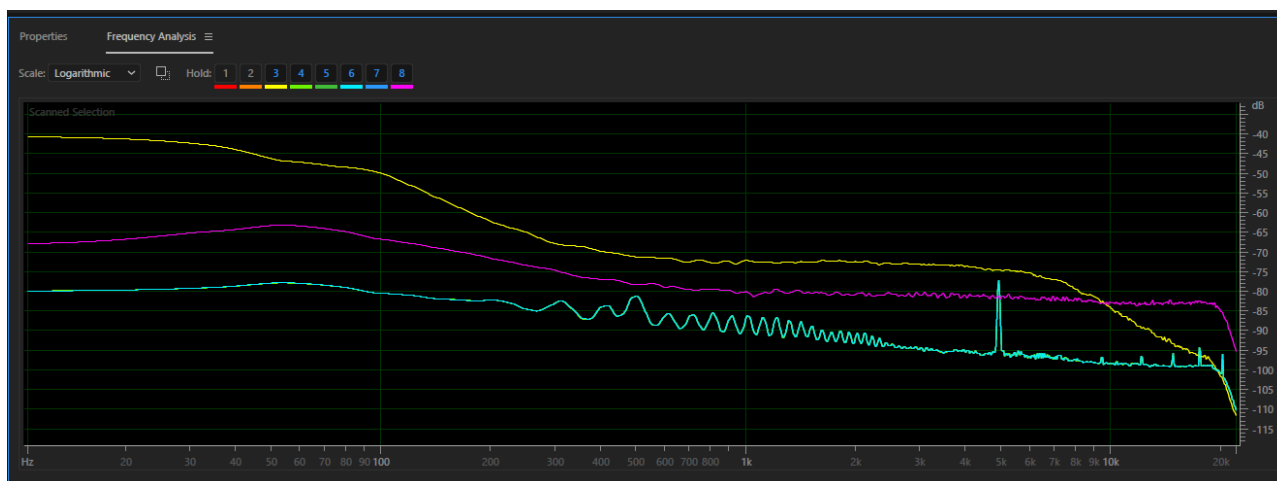
На рис. 5.9 наведено зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ сигналу (блакитний) та завади (червоний) для МП у бобіні (а) та МП у касеті (б).

Результати дослідження зведено в таблиці 5.1. В табл. 5.2 наведено приклади аналізу параметрів сигналів для різних фонограм за рівнем і частотою та можливі $K_{C/A}$ за рівнем для фрагментів фонограми до та після проведення найпростіших операцій РтаВФ з параметрами «за замовчуванням», враховуючи артефакти

відповідних носіїв.

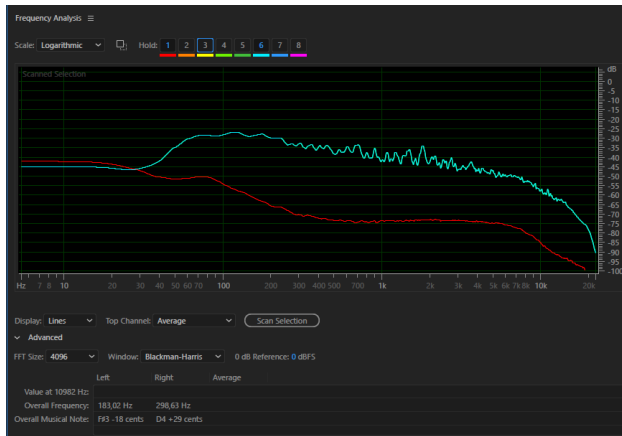


а

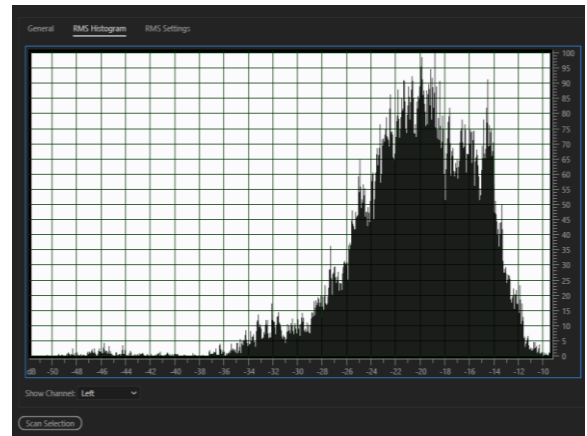


б

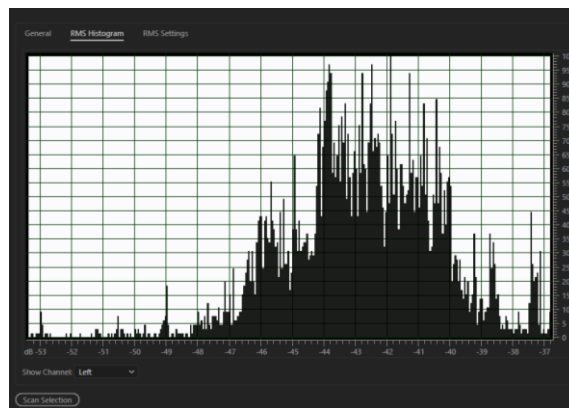
Рисунок 5.6 – Зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ корисного сигналу фонограми (а) та з формою АЧХ завад (б), створюваних різними носіями (червоний колір графіка – завада й сигнал на компакт-диску, жовтий колір графіка – завада й сигнал з грамплатівки, блакитний колір графіка – магнітна плівка у бобіні BASF, фіолетовий колір – плівка у касеті Sony)



а

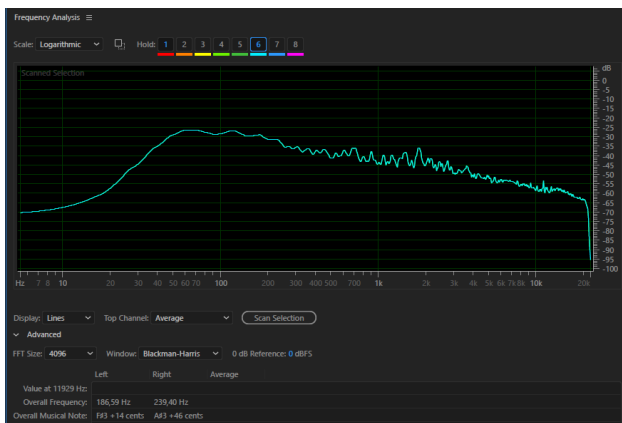


б

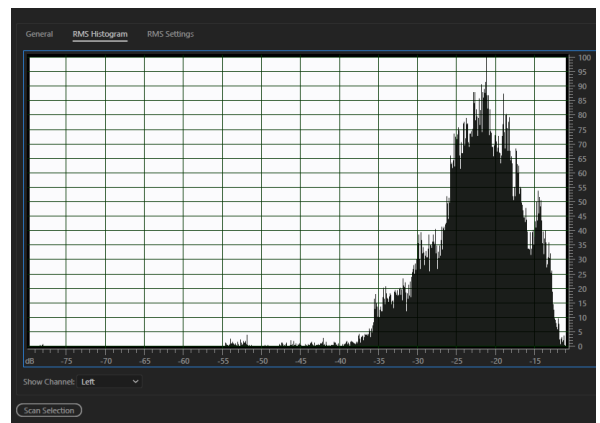


в

Рисунок 5.7 – Зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ сигналу (блакитний) та завади (червоний) грамплатівки (а), а також гістограма рівнів сигналу (б) та шумів (в) на грамплатівці

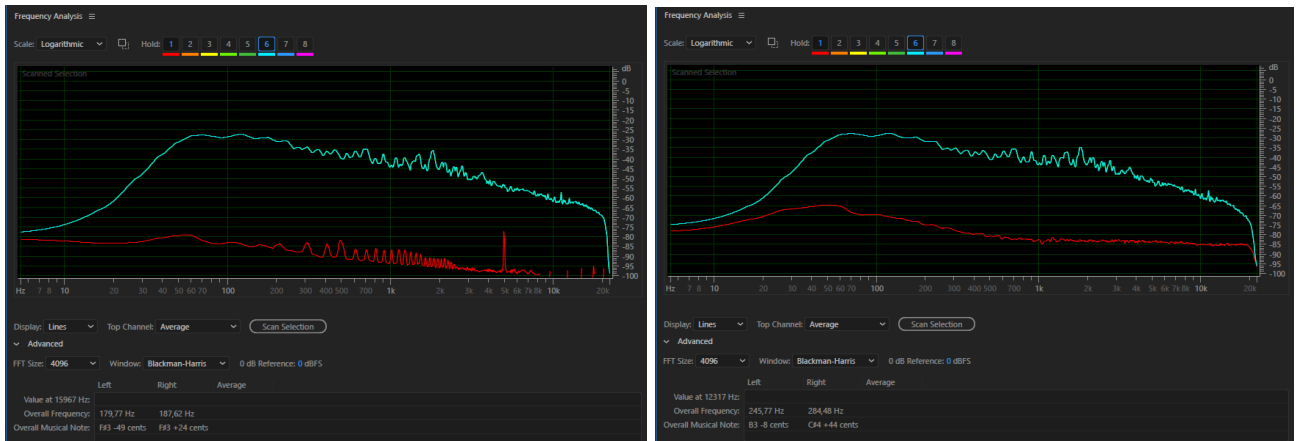


а



б

Рисунок 5.8 – Зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ сигналу (блакитний) та завади (червоний відсутній) компакт-диску, а також гістограма рівнів сигналу на компакт-диску



а

б

Рисунок 5.9 - Зображення модуля спектроаналізатора програми Adobe Audition з формою АЧХ сигналу (блакитний) та завади (червоний) для МП у бобіні (а) та МП у касеті (б)

Так при порівнянні рівня фрагменту сигналу на грамплатівці маємо рівень -3 дБ і рівня завад у паузі (-36 дБ) маємо $K_{C/A}=33$ дБ. При виконанні реставраційних робіт ефективність їх буде визначатись збільшенням $K_{C/A}$, а саме, при отриманні в результаті застосування ПЗ зменшення клацань грамплатівки (DeClicker) рівня завад з параметрами за замовчуванням (наприклад, -50 дБ), матимемо $K_{C/A}=47$ дБ.

Як $K_{C/A}$ може розглядатись нерівномірність АЧХ в діапазоні 400 Гц-4 кГц, яка для грамплатівки складає 15 дБ. За рахунок застосування багатосмугових еквалайзерів цей показник можна зменшити, наприклад, до 10 дБ.

За результатами аналізу АЧХ інформаційного сигналу фонограми і артефактів фонограм (рис. 5.7...5.8, а та 5.9, а, б) можна визначити співвідношення сигнал/артефакт на різних частотах, що важливо для оперативного контролю фонограм в процесі РтаВ. Так, відповідно скріншоту рівень сигналу на частоті 100 Гц -30 дБ, а шумів - -70 дБ, $K_{C/Ш}=N_{\text{сигн}} - N_{\text{шум}}=40$ дБ, рівень сигналу на частоті 10 кГц -60 дБ, а шумів - -85 дБ, $K_{C/Ш}=N_{\text{сигн}} - N_{\text{шум}}=25$ дБ.

Як видно, на частоті 100 Гц $K_{C/Ш}$ більше ніж на частоті 10 кГц, що говорить про необхідність зменшення шумів на високих частотах в більшій мірі, ніж на НЧ, хоча на частотах нижче 50 Гц також необхідна додаткова обробка шумів для зменшення їх помітності.

Таблиця 5.1

Тип фонограми	КД	ГП	МП (б)	МП (к)	ПЗ
Піковий рівень артефактів в паузі, дБ	<78	-9	-54	-44	VU/PPM SF
Піковий рівень сигналу (фрагмент), дБ	-2	-2	-4	-3	VU/PPM SF
Відношення сигнал/артефакти $K_{C/A}$, дБ	<76	7	50	41	
Середній рівень артефактів в паузі, дБ	$-\infty$	-42/-47 -45	-69/-71 -70	-58/-57 -57	Amp.Stat. AA
Середній рівень сигналу (весь фрагмент), дБ	-19/-19	-18/-18	-20/-19	-20/-19	Amp.Stat. AA
Відношення сигнал/артефакти $K_{C/A}$, дБ	∞	27	51	38	
Піковий рівень артефактів в паузі, дБ	$-\infty$	-9/-19	-54/-56	-44/-44	Amp.Stat.AA
Піковий рівень сигналу (весь фрагмент), дБ	-1/-1	-1/-1	-2/-1	-2/-1	Amp.Stat. AA
Нерівномірність АЧХ в діапазоні 40Гц-10кГц	29	32	36	33	Sound Forge
Нерівномірність АЧХ в діапазоні 400Гц-4 кГц	-58/-70 12	-44/-59 15	-49/-67 18	-49/-64 15	Sound Forge
Рівень сигналу на частоті 40Гц	-54	-47	-50	-48	Sound Forge
Рівень сигналу на частоті 100Гц	-49	-40	-42	-41	Sound Forge
Рівень сигналу на частоті 10 кГц	-78	-72	-78	-74	Sound Forge
Рівень сигналу на частоті 10 Гц	-79	-48	-78	-72	Sound Forge

Таблиця 5.2

Тип фонограми	КД	ГП	МП (б)	МП (к)
Середній рівень артефактів в паузі, дБ	<-78	-36	-55	-46
Середній рівень сигналу (фрагмент), дБ	-5	-3	-6	-6
Відношення сигнал/артефакти $K_{C/A}$, дБ	<73	33	49	40
Середній рівень артефактів в паузі після застосування модуля DeClicker, дБ	-	-45	-	-
Середній рівень сигналу (фрагмент) після застосування модуля DeClicker, дБ	-	-5	-	-
Середній рівень артефактів в паузі після застосування модуля DeNoiser, дБ	-	-	-67	-60
Середній рівень сигналу (фрагмент) після застосування модуля DeNoiser, дБ	-	-	-8	-9
Відношення сигнал/артефакти за рівнем $K_{C/A}$, дБ	-	40	59	51
Нерівномірність АЧХ в діапазоні 400Гц-4 кГц	12	15	18	15
Відношення сигнал/артефакти за нерівномірністю АЧХ $K_{C/A}$, дБ	12	15	18	15
Нерівномірність АЧХ в діапазоні 400Гц-4 кГц після застосування модуля Parametric Equalizer, дБ	9	10	12	11
Відношення сигнал/артефакти за нерівномірністю АЧХ $K_{C/A}$, дБ	9	10	12	11

Аналіз рядків табл. 5.2 з четвертого по дев'ятий показує, що $K_{C/A}$ до виконання РтаВФ та після за рівнем, збільшення на 7 дБ $K_{C/A}$ як, наприклад, для ГП з 33 дБ до 40 дБ і зменшення на 5 дБ $K_{C/A}$ за нерівномірністю АЧХ з 15 дБ до 10 дБ, підтверджує підвищення ефективності.

Висновки за розділом 5

1. На підставі проведених досліджень технічних параметрів фонограм на різних носіях із застосуванням програмних вимірювальних засобів, що вбудовані в ПЗ Sound Forge та Adobe Audition визначено рівні сигналу, рівні артефактів, що залежать, в першу чергу, від характерних шумів, частотні діапазони інформаційних сигналів та шумів, гістограми вірогідності появи сигналів з відповідними рівнями.

2. Для порівняння параметрів фонограм на різних носіях запропоновано застосування критерію, що визначає відношення артефакт/сигнал, а також рівні сигналів на окремих частотах й нерівномірність АЧХ у визначеній смузі частот.

3. За результатами дослідження визначено, що найкращий показник для аналогових фонограм за критерієм відношення артефакт/сигнал має фонограма на магнітній плівці, розміщеній у бобіні, для якої цей критерій становить для фрагменту фонограми 49 дБ, а для всієї фонограми – 51 дБ. Найгірший показник у грамплатівки - для фрагменту фонограми 33 дБ, а для всієї фонограми – 27 дБ.

4. За частотними характеристиками серед аналогових фонограм найкращими показниками характеризують ГП, для якої нерівномірність АЧХ в діапазоні 40 Гц-10 кГц складає 32 дБ, а рівні сигналів на зазначених частотах найвищі. Найгірші значення за АЧХ у фонограми на магнітній плівці, розміщеній у бобіні. Однак на НЧ (наприклад, 10 Гц) АЧХ фонограми на ГП має значний рівень, до -48 дБ, що визначається НЧ шумом, викликаним рокот-шумами і швидкістю обертання диска. Найкращий показник на НЧ (10 Гц) у фонограми на магнітній плівці, розміщеній у бобіні.

5. Визначені на підставі проведеного дослідження та аналізу параметри аналогових фонограм за рівнем та частотним діапазоном забезпечили спрощення

налаштування програмних засобів для реставрації та покращити якість фонограми після реставрації.

6. Наведені приклади оперативного контролю об'єктивних параметрів фонограми таких як: рівень сигналу і артефакту, АЧХ сигналу і артефакту, динамічний діапазон, фазові співвідношення між стереоканалами з використанням вбудованих вимірювальних засобів програмного забезпечення.

7. Достовірність вимірювання оперативних параметрів відображена скріншотами. При реставрації знання таких параметрів дозволяє визначати обсяги робіт з видалення певних артефактів (в даному випадку - шумів).

8. Експериментальне дослідження перерахованих факторів дозволить розробити метод прогнозування результатів реставраційних робіт з фонограмами на різних носіях.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача забезпечення підвищення ефективності реставраційних і відновлювальних робіт з аналоговими фонограмами.

Основні результати дисертаційної роботи полягають у наступному.

1. На підставі аналізу аналогових фонограм на різних носіях, що потребують реставрації та відновлення в роботі запропоновано удосконалену класифікацію звукових фонограм у цілому та за ознакою інформаційної складової фонограми. Запропонована класифікація фонограм і аналізу цілей використання реставрованої фонограми зменшує час виконання реставраційних і відновлювальних робіт з фонограмами і тим самим підвищити ефективність робіт внаслідок обмеження застосовуваних засобів відтворення фонограм, а також складання карти необхідних налаштувань для оброблення сигналів в процесі реставрації.

2. На підставі аналізу критеріїв якості звукових фонограм визначені додаткові критерії оцінювання якості звукових фонограм з урахуванням реставраційних та відновлювальних робіт. Для оцінювання якості фонограм доцільно застосувати такі методи оцінювання - метод суб'єктивного оцінювання якості звучання фонограм, метод об'єктивного оцінювання якості звучання, метод об'єктивного оцінювання параметрів сигналу фонограм.

3. Запропонована нова модель об'єктивного оцінювання якості фонограм для використання в РтаВФ з аналоговими фонограмами на різних носіях, заснована на неінтрузивній моделі з параметричним моделюванням сигналу фонограми для оцінювання впливу артефакту на фонограму, дозволяє істотно скоротити часові і технічні ресурси, необхідні для проведення РтаВФ.

4. На підставі визначених в роботі особливостей аналогових фонограм, наведених узагальнених технічних параметрів фонограм, аналізу факторів, що впливають на якісні показники фонограми і на подальшу РтаВФ, визначені основні артефакти, що характерні для відповідної фонограми й запропонована

удосконалена класифікація артефактів фонограм залежно від носія і інформації. Завдяки запропонованому ранжуванню класифікаційних ознак артефактів аналогових фонограм можна скоротити час виконання реставраційних і відновлювальних робіт з фонограмами і тим самим підвищити ефективність робіт внаслідок виключення перебору відомих методів реставрації і плагінів для реставрації безпосереднім застосуванням прийнятного для даного типу носія і особливостям інформаційної складової фонограми, необхідних ПЗ.

5. Вперше запропоновано концептуальну модель процесу РтаВФ, що є підставою визначення методів і засобів для подальшої автоматизації процесу реставрації. Структура концептуальної моделі РтаВФ забезпечує можливість поетапного видалення артефактів незалежно від типу множини концептів, що визначають артефакти, зумовлені технологією звукозапису й, тим самим, забезпечує підвищення ефективності реставраційних робіт з фонограмами.

6. Удосконалено електроакустичний метод виконання реставраційних робіт з розрахунками акустичних умов приміщення – спеціалізованої акустичної камери для виконання реставраційних робіт і для суб'єктивного контролю якості фонограм, а також електроакустичних параметрів застосовуваних мікрофонів та гучномовців, що забезпечує підвищення якості відновленої фонограми. Завдяки використанню спеціалізованої акустичної камери і відповідної технології проведення РтаВФ з суб'єктивним контролем фонограм забезпечено створення зручних і сприятливих умов для проведення реставраційних робіт, спрощення процедури вибору необхідного обладнання, що, в свою чергу, покращує якісні показники відреставрованої фонограми і створює передумови підвищення ефективності реставраційних робіт з фонограмами.

7. Запропоновано критерій відношення артефакт/сигнал ($K_{C/A}$), що забезпечує спрощення налаштування програмних засобів для реставрації та покращити якість фонограми після реставрації і, відповідно ефективність реставрації. Експериментально проведені дослідження технічних параметрів фонограм на різних носіях таких як, рівні сигналу, рівні артефактів, частотні діапазони інформаційних сигналів та шумів, гістограми вірогідності появи сигналів з

відповідними рівнями, із застосуванням програмних вимірювальних засобів, що вбудовані в ПЗ Sound Forge та Adobe Audition. Збільшення $K_{C/A}$ за рівнем на 7 дБ і зменшення $K_{C/A}$ за нерівномірністю АЧХ на 5 дБ свідчить про підвищення ефективності виконання реставраційних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гребінь О. П., Прядко О. М. Еволюція технологій створення фонограм в кінематографі: від Т. А. Едісона до О. Ф. Шоріна. Аудіовізуальне мистецтво і виробництво: досвід, проблеми та перспективи: Колективна монографія. Київ : Видав. центр КНУКиМ, Т. 9. 2021. – С. : 61-96.
2. Ширмер Т. Оцифровка и реставрация грампластинок, магнитофонных пленок и аудиокассет / Т. Ширмер, А. Хайн ; пер. с нем. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. – 240 с.
3. Digital Audio Restoration Simon Godsill and Peter Rayner Dept. of Engineering University of Cambridge, Cambridge, U.K. sjg,p jwr@eng.cam.ac.uk Olivier Cappe ENST Paris, France cappe@sig.enst.fr June 2, 1997. URL: <http://dsp-book.narod.ru/chapt.pdf>
4. Антонов Л. Реставрация фонограмм – принципы и технология. Информационно-технический журнал “Звукорежиссер”, №8, 2001. – С. : 60-66. URL: <https://records.su/pubs/1487392302942860.pdf>
5. П.П. Олефиренко. Реставрация фонограмм инструментами звуковых редакторов Электронный ресурс. Доступ до статті: Олефиренко П.П. – М.: Издательство Вестник № 9, 2011. – URL: <http://www.ipk.ru>. <http://www.ipk.ru/index.php?id=1680>
6. Антонов Л. Реставрация фонограмм. Часть 2. – М.: Издательство "Звукорежиссер", 2006_ URL: <http://rus.625-net.ru>.
7. Мустафин А. М. Реставрация (ремастеринг) фонограмм. Часть 2. URL: <http://cjciry.ru/content/restavracia2.php> (14.04.2015)
8. Кудинов А. А. Использование распознавания образов для обработки и восстановления музыкальных сигналов: автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.12.04: Москва, 2003 180 с. РГБ ОД, 61:03-5/3066-6. URL: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/57331.html>
9. Музыченко Е. Реставрация фонограмм_ М.: Издательство Компьютер Пресс, №11, 2011. URL: <https://compress.ru/article.aspx?id=12256>

10. Мустафин А. М. Реставрация фонограмм с аудиоленты. Часть 1. Выбор аппаратуры и подготовка кассет. URL: <http://cjcitu.ru/content/restavracia.php> : (14.04.2015)
11. Мустафин А.М. Реставрация (ремастеринг) фонограмм. Часть 2. 2008. URL: <http://cjcitu.ru/content/restavracia2.php>
12. Скрулин В.О. Реставрация грамзаписей. 2013. URL: <http://audio192khz.com>.
13. Анатолий Вейценфельд. Спасение звука – дело рук реставраторов. URL: http://www.allprosound.ru/praktika/Mastering-restoration/Mastering-restoration_59.html
14. Субботин А. Классификация алгоритмов, используемых при цифровой реставрации фонограмм (вводная лекция). 2012. URL: <http://www.masteringonline.ru>.
15. Особенности восстановления аудиофрагментов носителей механической записи. / Гребинь А.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б., Шарагда О. // Журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку», №4 (32), 2014. – С. : 62-67.
16. Особенности реставрации и восстановления аудиосигналов, обусловленные спецификой носителя магнитной записи. / Гребинь А.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б., Пробитый Д.М. // Журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку», №2 (36), 2015. – С. : 38-43.
17. Еремин Л.В. Оцифровка и реставрация звука: методические указания для практических занятий. Учебное пособие. - СПб.: Ф-т филологии и искусств СПбГУ, 2007. - 35 с. URL: http://window.edu.ru/resource/379/57379/files/Eremin_Zifra_web.pdf
18. Жалнин Д. Звукочистка, или Цифровой ремастеринг и реставрация фонограмм. – М.: Издательство "Компьютерра" №46, 1997. URL: <http://old.computerra.ru/>
19. Антонов Л. Реставрация фонограмм. Часть 3. – М.: Издательство "Звукорежиссер", 2006. URL: <http://rus.625-net.ru>.
20. Яворских Е. Оцифровка, обработка и реставрация звука. – М.: Издательство "Компьютерра", №6, 2002. URL: http://pomchi.narod.ru/Articles/adc/adc_2.html

21. Русинов А. Реставрация звука на персональном компьютере. – 2011. URL: <http://mediatory.ru>.
22. Петров К. Цифровая реставрация фонограмм. – М.: Издательство Stereo&Video, 2013. URL: <http://musicstereo.narod.ru>.
23. Брусникин В. Ремастеринг: для "чайников" и не только. – 2003. URL: <http://oldradio.onego.ru>.
24. Брусникин В. Ремастеринг: для "чайников" и не только. Часть 2. – 2003. URL: <http://oldradio.onego.ru>.
25. Ширмер, Т. Оцифровка и реставрация грампластинок, магнитофонных пленок и аудиокассет: Пер. С нем. / Т. Ширмер, А. Хайн. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 240 с.
26. Динов В.Г. Реставрация архивных записей: Учебное пособие. - СПб. : изд. СПб. ГУКиТ, 2009. – 16 с. URL: <http://books.gukit.ru/pdf/fulltext/179.pdf>
27. Reconstruction of Mechanically Recorded Sound by Image Processing. Vitaliy Fadeyev and Carl Haber. Physics Division Lawrence Berkeley National Laboratory 1 Cyclotron Road Berkeley, California 94720 LBNL Report 51983 26-March-2003. URL: <http://www-cdf.lbl.gov/~av/JAES-paper-LBNL.pdf>
28. Пол Уайт. Реставрация магнитных лент. URL: <http://unisonrecords.org/node/104>
29. Гильвер С. Г. Автореферат диссертации по теме "Исследование и разработка методов контроля качества восстановления фонограмм" Санкт-Петербург 2006. URL: <http://tekhnosfera.com/issledovanie-i-razrabotka-metodov-kontrolya-kachestva-vosstanovleniya-fonogramm>
30. Меерзон Б. Архивирование звукозаписей. – М.: Издательство "Звукорежиссер", 2000. URL: <http://rus.625-net.ru>.
31. Волков А.Л. Борьба с импульсными помехами фонограмм с применением цифровой обработки сигналов. Депонированная рукопись № 170 кт-Д00, в ОНТИ НИКФИ, 2000. – 18 с.
32. Волков А.Л. Импульсные помехи механической фонограммы. - Депонированная рукопись № 169 кт Д00, в ОНТИ НИКФИ, 2000. – 14 с.

33. Волков А.Л. Адаптивный алгоритм цифровой обработки звуковых сигналов для реставрации фонограмм: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.09.08. - СПб., 2000. - 23 с. URL: <http://www.dissercat.com/content/adaptivnyi-algoritm-tsifrovoy-obrabotki-zvukovykh-signalov-dlya-restavratsii-fonogramm>
34. Ковалевская Н.С. Будущее исходных архивных фонограмм кинофильмов. // ТКТ. 2001. № 4. – С. : 36-37.
35. Устинов В.А., Меркулов В.Н., Тихонов С.А. Новые носители архивной информации // Вестник архивиста. 1999. № 1(49). – С. : 32-51.
36. Волков А.Л. Ишуткин Ю.М. Методы борьбы с импульсными помехами. Депонированная рукопись № 168КТ - Д00, в ОНТИ НИКФИ, 2000. – 16 с.
37. Grebin, A., Levenets, N., Shvaichenko, V. Methods of quality control of phonograms during restoration and recovery. Journal “ScienceRise”, Tallin, Estonia, №1, 2021. – P. : 22-32.
38. А. Вейценфельд Професійна оцінка якості звукозаписів. URL: <http://www.hi-fi.ru/magazine/audio/professionalnaya-otsenka-kachestva-zvukozapisey/>
39. Б. Меерзон, Методы экспертной оценки качества звучания записей / Б. Меерзон // Звукорежиссер. – 1999. №8. URL: <http://www.allprosound.ru/teoriya/Measuring/metodi-ekspertnoy-otsenki-kachestva-zvuchaniya-zapisey.html>
40. Campbell D., Jones E., Glavin M. (2009). Audio quality assessment techniques - A review and recent developments. Journal Signal Processing, 89. – P. : 1489–1500.
41. ITU-R Recommendation BS.1284-2. (2019). General methods for the subjective assessment of sound quality, International Telecommunications Union, Geneva, 18. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1284-2-201901-I!!PDF-E.pdf
42. О.В. Циплухін. Критерії суб'єктивної оцінки якості фонограм. Зведення та мастеринг. URL: <http://www.musmaker.ru/index.php/stati/31-part-3>
43. Войтович О.О. Критерії оцінки художньої якості звукового матеріалу в епоху цифрових технологій. ISSN 2411-1546 Українська культура: минуле, сучасне,

- шляхи розвитку. 2015. - Вип. 21(2). - С. : 194-197.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukrk_2015_21%282%29__41
44. Акустичні основи звукорежисури. URL: <https://www.hip-hop.ru/forum/id2619-maky/blog/subektivnaya-ocenka-kachestva-zvuchaniya-fonogramm-2833/>
 45. Cote N. (2011) Integral and Diagnostic Intrusive Prediction Speech Quality. T-Labs Series in Telecommunication Services. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 267.
 46. ITU-R Recommendation BS.1387. (2001). Method for objective measurements of perceived audio quality, International Telecommunications Union, Geneva. URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1387-1-200111-I!!PDF-E.pdf
 47. Sloan, C., Kelly, D., Harte, N., Kokaram, A. and Hines, A. (2017) Objective Assessment of Perceptual Audio Quality Using ViSQOLAudio. IEEE Transactions on Broadcasting Issue 99. - P. : 1-13. DOI: 10.1109/TBC.2017.2704421
 48. Huber R., Kollmeier B. (2006). PEMO-Q-A new method for objective audio quality assessment using a model of auditory perception. IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process. 14 (6). – P. : 1902–1911.
 49. Barbedo J., Lopes A. (2005). A new cognitive model for objective assessment of audio quality. J. Audio Eng. Soc. 53 (1/2). – P. : 22–31.
 50. K. Watanabe, Objective perceptual audio quality measurement methods, Journal of the Broadcast Technology no.35, pp. 1-11, Combined Issue Autumn 2008-Winter 2009. URL: <https://www.nhk.or.jp/strl/publica/bt/en/fe0035-2.pdf>
 51. Технология PEAQ. URL: <https://audiophilessoft.ru/publ/theory/peaq/6-1-0-325>
 52. ISO/IEC 14496-3 Information technology — Coding of audio-visual objects — Part 3: Audio, Third edition, 2005.
 53. Ковалгин Ю.А., Вологдин Э.И., Аудиотехника – Горячая линия – Телеком, 2013. – 742 с.
 54. A. R. Avila, H. Gamper, C. Reddy, R. Cutler, I. Tashev and J. Gehrke, "Non-intrusive Speech Quality Assessment Using Neural Networks," ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Brighton, UK, 2019. – P. : 631-635. - DOI:

- 10.1109/ICASSP.2019.8683175.
55. X. Jia and D. Li, "A Deep Learning-Based Time-Domain Approach for Non-Intrusive Speech Quality Assessment," 2020 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Auckland, New Zealand, 2020. – P. : 477-481.
 56. Y. Shan, J. Wang, X. Xie, L. Meng and J. Kuang, "Non-intrusive Speech Quality Assessment Using Deep Belief Network and Backpropagation Neural Network," 2018 11th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP), Taipei City, Taiwan, 2018. – P. : 71-75. - DOI: 10.1109/ISCSLP.2018.8706696.
 57. Запись и воспроизведение информации. Термины и определения Information recording and reproduction. Terms and definitions. ГОСТ 13699-91 МКС 01.040.35 35.040 ОКСТУ 6501 Дата введения 01.01.92. URL: http://standartgost.ru/b/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_13699-91#page-1
 58. Вологдин Э.И., Гласман К.Ф., Ковалгин Ю.А., Лишин Л.Г. Запись аудио- и видеосигналов. М.: Академия, 2010. – 512 с.
 59. Кинг Г. Руководство по звукотехнике / Г. Кинг. – Ленинград : Энергия, 1980. – 384 с.
 60. Аполлонова Л. П. Грамзапись и ее воспроизведение / Л. П. Аполлонова, Н. Д. Шумова. – Москва : Энергия, 1973. – 73 с.
 61. Аполлонова Л. П., Шумова Н. Д. Механическая звукозапись. -М.: Энергия, 1978. – 232 с.
 62. Бродкин В. М. Электропроигрывающие устройства / В. М. Бродкин. – Москва : Энергия, 1980. – 128 с.
 63. Дегрелл Л. Проигрыватели и грампластинки / Дегрелл Л. – Москва : Радио и связь, 1982. – 176 с.
 64. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике). СПб.: СПбГУКиТ, 2002. – 712 с.
 65. Лауфер М. В. Теоретические основы магнитной записи на движущийся носитель / М. В. Лауфер, И. А. Крыжановский. – Київ : Вища школа, 1982. –

270 с.

66. Гитлиц М. В. Магнитная запись сигналов / М. В. Гитлиц. – Москва : Радио и связь, 1990. – 226 с.
67. Травніков Є. М. Системи та пристрої реєстрації інформації / Є. М. Травніков, Г. Г. Власюк, В. В. Пілінський, В. М. Співак, В. Б. Швайченко – Київ : Кафедра. 2013. – 216 с.
68. Антонов В. И. Справочник по технике магнитной записи / В. И. Антонов, В. П. Веклич, Л. П. Водяницкий и др.; под ред. О. В. Порицкого, Е. Н. Травникова. – Київ: Техніка, 1981. – 319 с.
69. Магнитофоны бытовые. Общие технические условия // ГОСТ 24863-87. – Москва : Издательство стандартов, 1989.
70. Волков А.Л., Ишуткин Ю.М. Шумы и помехи в звукозаписи: Учебное пособие. СПб.: СПГУКиТ, 2000. – 127 с.
71. Волков А.Л. Импульсные помехи оптической фонограммы. -Депонированная рукопись № 171 кт Д00, в ОНТИ НИКФИ, 2000. – 15 с.
72. Гребінь О.П. Модель процесу відновлення інформації з ушкоджених носіїв / Гребінь О.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Збірник наукових праць. Серія: Мехатронні системи. Енергоефективність та ресурсозбереження. – К: КНУТД №2 (120), 2018. - С.26-37.
73. Тема 2. Инфологическое (концептуальное) моделирование предметной области. URL: http://aesa.kz:8073/books/%7B6E7571C8-844A-4B33-8F42-78C0C1763A9E%7D/Bazy_dannyh/umk/text/02t01.htm/
74. Ларин В. Ю. Концепции профессионального проектирования приборов и систем: в 2-х томах. Книга 1. / В.Ю. Ларин, Е. Ю. Ларина, Я. А Савицкая и др. - К.: Кафедра, 2016. - 468 с.
75. Никамин В. А. Цифровая звукозапись. Технологии и стандарты / В. А. Никамин. – СПб.: НиТ, 2002. – 256 с.
76. Згуровский М. З. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами / М. З. Згуровский, А. А. Павлов. – К. : Наукова думка, 2010. –

575 с.

77. Боярский К. К. Концептуальные модели в базах знаний/ К.К. Боярский, Е. А. Каневский, Г.В. Лезин// Науч.-техн. вестник информационных технологий, механики и оптики. - №2, том 2, 2002. - С.57-62
78. Муромцев Д. И. Концептуальное моделирование знаний в системе Стар Tools/ Д. И. Муромцев. - СПб: ГУ ИТМО, 2009. - 83 с.
79. Снетков Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов/ Н. Н. Снетков. - М.: Изд. центр ЕАОИ, 2008. - 228 с.
80. Алдошина, И. А. Электроакустика и звуковое вещание Текст.: учебное пособие для ВУЗов / И. А. Алдошина, Э. И. Вологдин, А. 11. Ефимов. - М.: Горячая линия - Телеком. 872 с.
81. Акустика: Справочник / А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров; Под ред. М. А. Сапожкова. М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
82. Прикладна акустика – 1. Електроакустика: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації «Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О.П. Гребінь, Н.Ф. Левенець, В.Б. Швайченко – Електронні текстові дані (1 файл: 14,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 145 с.
83. Алдошина, И. А. Основы психоакустики. Часть 1 Текст. / И. А. Алдошина // Звукорежиссер. — 1999. - №6. - С. : 27-32.
84. Харуто, А. В. Компьютерные методы анализа звука в музыковедческом исследовании Текст. / А. В. Харуто // Музыка и время. - 2005. - № 8. - С. : 55-163.
85. On the Methodologies of Audio Restoration Angelo Orcalli Journal of New Music Research. Volume 30, Issue 4, 2001, pages 307-322. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1076/jnmr.30.4.307.7496#preview>
86. Волков А.Л. Борьба с импульсными помехами фонограмм с использованием методов цифровой обработки сигналов. В1. ЛИТЕРАТУРА161сб.: Проблемы развития техники, технологии и экономики кино и телевидения. Вып. 11. -

- СПб. : СПбГУКиТ, 1999. - С. 72-83.
87. Апология магнитной записи. А. Востоков, 2006 с. URL: <http://www.analogaudio.narod.ru/apologia-ru.pdf>
 88. International Association of Sound and Audiovisual Archives (Международная Ассоциация Звуковых и Аудиовизуальных Архивов). Technical Committee (Технический Комитет). Standards, Recommended Practices and Strategies (Стандарты, практические рекомендации и стратегии). IASA-TC 03. Сохранение звукового наследия: этические аспекты, принципы и стратегии. Вариант 3, декабрь 2005 г. URL: http://www.iasa-web.org/sites/default/files/downloads/publications/TC03_Russian.pdf
 89. Manual of analogue sound restoration techniques. Peter Copeland. Published September 2008 by The British Library 96 Euston Road, London NW1 2DB Copyright 2008, The British Library Board www.bl.uk. URL: <http://www.bl.uk/reshelp/findhelprestype/sound/anaudio/analoguesoundrestoration.pdf>.
 90. Критерії якості звукових фонограм після реставрації та відновлення для застосування у мультимедійних додатках. / О.П. Гребінь, Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. - К.: НАУ, 2017. Дата проведення: 16.11.2017.
 91. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Застосування інформаційних технологій для контролю параметрів звукових сигналів при створенні аудіовізуальної продукції // Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі": матеріали конференції. Київський національний ун-т культури і мистецтв (КНУКіМ). – С. 236–238. Дата проведення: 18-19.04.2019.
 92. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Технічні параметри та умови, що визначають якість звуковідтворення. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Мистецтвознавство. Соціальні комунікації. Медіапедагогіка», м. Київ / Упоряд. О. В. Безручко, С. В. Желєзняк. Київ : Видав. центр КНУКіМ,

2019. Ч. I. – С. 127-132.
93. Гребінь О.П. «Творчо-технологічні аспекти реставрації та відновлення аналогових фонограм». Міжнародна науково-практична конференція «Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство» .Ч. I. Друк матеріалів конференції. Київ: Вид. центр КНУКіМ, 2020. – С. 139-142. Дата проведення: 26 .03.2020.
 94. A. Prodeus, I. Kotvytskyi, A. Grebin, "Using Kurtosis for Objective Assessment of the Musical Signals Clipping Degree," Proc. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), October 2019, Kyiv, Ukraine.
 95. Иллюстрированный самоучитель по Sound Forge 10. URL: http://wikisound.org/Sound_Forge
 96. Офіційний сайт компанії MAGIX. URL: <https://www.magix.com/ru/muzyka/sound-forge/>
 97. Иллюстрированный самоучитель по Adobe Audition. URL: http://wikisound.org/Adobe_Audition
 98. Офіційний сайт компанії Adobe. URL: <http://www.adobe.com>
 99. Дубровский Д.Ю. Компьютер для музыкантов любителей и профессионалов. / Дубровский Д.Ю. : Практ.пособ. - М. : Издательство ТРИУМФ, 1999. – 400 с.
 100. Петелин Р.Ю. Музыкальный компьютер. Секреты мастерства. 2-е изд., перераб. и доп. / Петелин Р.Ю., Петелин Ю.В. – СПб. : БХВ-Петербург; Арлит, 2004. – 668 с.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія

1. Гребінь О. П., Прядко О. М. Еволюція технологій створення фонограм в кінематографі: від Т. А. Едісона до О. Ф. Шоріна. Аудіовізуальне мистецтво і виробництво: досвід, проблеми та перспективи: Колективна монографія. Київ : Видав. центр КНУКіМ, Т. 9. 2021. – С. : 61-96. *(Здобувачем визначені основні етапи створення фонограм в кінематографі та визначені якісні показники фонограм).*

Публікації у фахових виданнях

2. Гребінь О.П. Особенности восстановления аудиофрагментов носителей механической записи / Гребінь О.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б., Шарагда О. // Журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку», № 4(32), 2014. – С.: 62-67. *(Здобувачем проведено дослідження артефактів носія механічного запису та їх вплив на якість фонограм).*

3. Гребінь О.П. Особенности реставрации и восстановления аудиосигналов, обусловленные спецификой носителя магнитной записи / Гребінь О.П., Левенец Н.Ф., Швайченко В.Б., Пробитый Д. М. // Журнал «Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку», № 2 (36), 2015. – С. 38-43. *(Здобувачем проведено дослідження артефактів носія магнітного запису та їх вплив на якість фонограм).*

4. Бакіко В.М. Визначення впливу імпедансу мережі змінного струму на ефективність фільтрації завад звукотехнічних систем / В.М. Бакіко, О.П. Гребінь, В.Б. Швайченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х : НТУ «ХПІ». — №14 (1290). 2018. – С. 3-6. *(Здобувачем досліджено завади звукотехнічних систем, визначені мережею змінного струму та необхідний рівень фільтрації).*

5. Гребінь О.П. Модель процесу відновлення інформації з ушкоджених носіїв / Гребінь О.П., Левенець Н.Ф., Швайченко В.Б. // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Збірник наукових праць. Серія: Мехатронні системи. Енергоефективність та ресурсозбереження. – К: КНУТД №2 (120), 2018.- С.26-37.*(Здобувачем визначені основні концепти РтаВФ та розроблено концептуальну модель процесу РтаВФ).*

6. Grebin, A., Levenets, N., Shvaichenko, V. Methods of quality control of phonograms during restoration and recovery. Journal “ScienceRise”, Tallin, Estonia, №1, 2021. – P. 22-32. *(Здобувачем проаналізовані існуючі методи контролю якості фонограм та розроблено модель контролю якості фонограм).*

Матеріали конференцій

7. Применение мультимедийных технологий для измерения времени реверберации помещения. / О.П. Гребінь, Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. - К.: НАУ, 2013. Дата проведення: 20-21.11.2013 *(Здобувачем запропоновано методику та експериментально проведено вимірювання часу реверберації із застосуванням звукових редакторів).*

8. Застосування мультимедійних технологій у реставрації та відновленні звукових фонограм. / Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. – К. : НАУ, 2014. Дата проведення: 12-13.11.2014 р. *(Здобувачем зазначені особливості застосування мультимедійних технологій у реставраційних роботах з аналоговими фонограмами).*

9. Мультимедійні технології та програмні засоби для реставрації та відновлення звукових фонограм. / Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. – К. : НАУ, 2015. Дата проведення: 11.11.2015 р. *(Здобувачем проведено експериментальне дослідження виконання РтаВФ із застосуванням відповідних програмних засобів).*

10. Забезпечення акустичних умов у мультимедійних комплексах. /

Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. – К. : НАУ, 2016. Дата проведення: 08-10.11.2016 р. *(Здобувачем визначені оптимальні акустичні умови для створення звукових програм в мультимедійних комплексах).*

11. Критерії якості звукових фонограм після реставрації та відновлення для застосування у мультимедійних додатках. / О.П. Гребінь, Левенець Н.Ф. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей. - К.: НАУ, 2017. Дата проведення: 16.11.2017. *(Здобувачем запропоновані критерії якості звукових фонограм в процесі виконання та після реставрації та відновлення фонограм).*

12. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Застосування мультимедійних технологій у виробництві програм телерадіомовлення. Науково-практична конференція «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності» : Тези доповідей.- К.: НАУ, 2016. Дата проведення: 08-10.11.2016. *(Здобувачем проаналізовано методики виробництва програм телерадіомовлення та визначена сучасна й перспективна технологія).*

13. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Архівування звукових фонограм після реставрації та відновлення // Тези доповідей науково-практичної конференції «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». Київ, НАУ. Дата проведення: 14-15 11.2018. *(Здобувачем проаналізовано можливості архівування реставрованих звукових фонограм для подальшого зберігання на сучасних носіях).*

14. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Сучасні інформаційні технології створення аудіовізуальної продукції // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та праві". Національний університет культури і мистецтв. Київ : Видав. центр КНУКіМ, 2018. Дата проведення: 19.04.2018. *(Здобувачем проаналізовано можливості побудови автоматизованих робочих місць для створення аудіовізуальної продукції).*

15. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Застосування інформаційних технологій для контролю параметрів звукових сигналів при створенні аудіовізуальної продукції

// Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі": матеріали конференції. Київський національний ун-т культури і мистецтв (КНУКіМ). – С.236–238. Дата проведення: 18-19.04.2019. *(Здобувачем експериментально досліджено програмні засоби для об'єктивного контролю параметрів звукових сигналів).*

16. Гребінь О.П., Левенець Н.Ф. Технічні параметри та умови, що визначають якість звуковідтворення. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Мистецтвознавство. Соціальні комунікації. Медіапедагогіка», м. Київ / Упоряд. О. В. Безручко, С. В. Желєзняк. Київ : Видав. центр КНУКіМ, 2019. Ч. I. – С. 127-132. Дата проведення: 21.10.2019. *(Здобувачем проаналізовані технічні параметри, що визначають якість звуковідтворення та удосконалено умови моніторингу параметрів).*

17. A. Prodeus, I. Kotvytskyi, A. Grebin, "Using Kurtosis for Objective Assessment of the Musical Signals Clipping Degree," Proc. 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), October 2019, Kyiv, Ukraine. *(Здобувачем практично досліджено вплив кліпування сигналу на якість сприйняття сигналу).*

18. Гребінь О.П., Левенець Н. Ф. «Особливості архівування звукових фонограм для застосування у мультимедійних додатках». Науково-практична конференція з міжнародною участю «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». Київ: НАУ, 2020. – С. 24.. Дата проведення: 14-15 листопада 2019 р. *(Здобувачем проаналізовано особливості архівування звукових фонограм для передавання звукового контенту в мультимедійних мережах).*

19. Гребінь О.П. «Творчо-технологічні аспекти реставрації та відновлення аналогових фонограм». Міжнародна науково-практична конференція «Україна у світових глобалізаційних процесах: культура, економіка, суспільство» .Ч. I. Друк матеріалів конференції. Київ: Вид. центр КНУКіМ, 2020. – С. 139-142. Дата проведення: 26 .03.2020.

20. Гребінь О.П. Візуалізація інформації при викладанні технічних дисциплін за напрямом підготовки «Аудіовізуальне мистецтво та виробництво»,

спеціальність «Звукорежисура» // Міжнародна науково-практична конференції "Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та праві"– С. 270-272. Київ : Видав. центр КНУКіМ, 2018. Дата проведення: 19-20 квітня 2018 р.

21. Гребінь О.П., Прядко О.М. «Звукотехнічні тракти в індивідуальних мультимедійних системах». Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Мультимедійні технології в освіті та інших сферах діяльності». kmmmt.nau.edu.ua/xi - всеукраїнська-науково-практична он-лайн конференція / м. Київ, НАУ. Дата проведення: 12.11.2020.*(Здобувачем досліджено технічні параметри електроакустичних пристроїв та вплив параметрів на якість звуковідтворення).*

ПРАКТИЧНІ РОЗРАХУНКИ АСБ РТАВФ

Б.1 Акустичний розрахунок акустичної камери АСБ реставрації та відновлення фонограм

Розміри акустичної камери: довжина $l=9,1$ м, ширина $b=5,6$ м, висота $h=3,5$ м (рис. Б.1), що відповідає співвідношенню розмірів за «золотим перерізом», площа підлоги $S = 51 \text{ м}^2$, об'єм $V = 178,4 \text{ м}^3$. Для розрахунку прийемо час реверберації $T_{\text{рев}}=0,4\pm0,1\text{с}$.

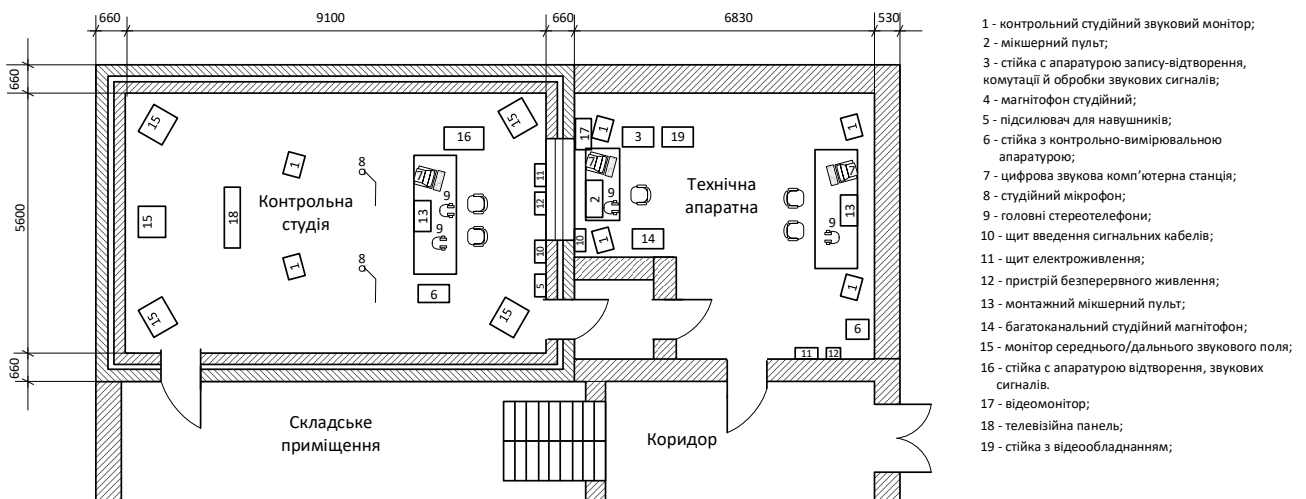


Рисунок Б.1 – План АСБ РтаВФ

Загальна площа внутрішніх поверхонь

$$S_{\Sigma} = 2lb + 2bh + 2hl = 2 \cdot 9,1 \cdot 5,6 + 2 \cdot 5,6 \cdot 3,5 + 2 \cdot 3,5 \cdot 9,1 = 204,8 \text{ м}^2. \quad (\text{Б.1})$$

Акустичні умови, а це, в першу чергу, оптимальний час реверберації, забезпечуємо звукопоглинанням у приміщенні, а саме вибором звукопоглинальних матеріалів.

Частотну залежність часу реверберації акустичної камери АСБ РтаВФ прийемо для даного варіанту прямолінійною (рис.Б.2). Числові значення часу реверберації зведені в табл. Б.1.

Необхідний час реверберації забезпечено певною акустичною обробкою, тобто підбором і встановленням звукопоглинальних матеріалів і конструкцій,

створюючи тим загальне поглинання.

Таблиця Б.1 - Необхідний час реверберації та загальне поглинання акустичної камери АСБ РтаВФ

Частота f , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
T , сек	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$-\ln(1-\alpha_{cp})$	0,35	0,35	0,35	0,347	0,342	0,33
α_{cp}	0,295	0,295	0,295	0,293	0,288	0,281
$A_{необ}$, Себ	60,423	60,423	60,423	60,012	58,988	57,554

Розрахунок загального поглинання починається з визначення необхідної кількості поглинання $A_{необ}$. Мета розрахунку загального поглинання в приміщенні – створити оптимальні умови відтворення реальних звукових програм з максимальним наближенням до часу стандартної реверберації і оптимальному її значенню на всіх частотах звукового діапазону.

Загальне поглинання A для заданого часу реверберації визначаємо за формулою:

$$A_0 = S_{\Sigma} \cdot \alpha_{cp} \quad \text{або} \quad A_0 = S_{\Sigma} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{V}{S_{\Sigma}} \left(4 \cdot \mu - \frac{0,161}{T} \right) \right)} \right), \quad (\text{Б.2})$$

де μ - коефіцієнт загасання звуку в повітрі при вологості повітря 65% [81], для частот нижче 1000 Гц можна прийняти $\mu=0$, для $f=1000$ Гц $\mu=0,001$, для $f=2000$ Гц $\mu=0,0025$, для $f=4000$ Гц $\mu=0,006$; S_{Σ} - площа всіх поверхонь приміщення $S_{\Sigma}=204,8 \text{ м}^2$; T - оптимальний час реверберації.

Для визначення $A_{необ}$ заздалегідь обчислюємо (для заданого часу реверберації) на частоті 500 Гц значення

$$-\ln(1 - \alpha_{cp}) = \frac{0,161V}{TS_{\Sigma}} = \frac{0,161 \cdot 178,4}{0,4 \cdot 204,8} = 0,35, \quad (\text{Б.3})$$

знаходимо $\alpha_{cp} = 0,295$ і визначаємо $A_0 = 60,423$ Себ.

Результати розрахунків для різних частот заносимо в табл. Б.1 і відображено на рис. Б.3.

Визначимо загальний фонд поглинання $A_{\text{заг}}$, обумовлений людьми, устаткуванням, килимами, поверхнею, яка не піддається обробці (вільна підлога, вільні стіни, оглядові вікна, двері) вентиляційні ґрати тощо. Для розрахунку використовуємо формулу

$$A_{\Sigma} = \sum \alpha_n S_n + \sum A_k N_k + \alpha_{\text{доп}} S_{\text{доп}}, \quad (\text{Б.4})$$

де α_n - коефіцієнти звукопоглинання матеріалів і конструкцій, які мають відповідну площу S_n , N_k - загальне число одиниць звукопоглинання об'єктів, що мають визначені значення поглинання (A_k), $\alpha_{\text{доп}}$ - коефіцієнт додаткового звукопоглинання, що враховує проникнення звукових хвиль в різні щілини і отвори приміщення, коливання різноманітних гнучких елементів, поглинання звуку освітлювальною арматурою тощо, що знаходяться у акустичній камері. A , α_n , A_k , $\alpha_{\text{доп}} S_{\text{доп}}$ виражені в одиницях звукопоглинання. Під одиницею звукопоглинання розуміємо поглинальну здатність 1 м^2 умовного матеріалу, що має $\alpha = 1$ ($\beta = 0$), тобто повністю поглинає звукову енергію, що падає на цю поверхню.

Проведемо розрахунок загального фонду поглинання. Результати розрахунку зведено в табл. Б.2 і наведено на рис. Б.3.

Загальний фонд поглинання менше необхідного поглинання. Тому, для забезпечення заданої реверберації в акустичній камері необхідна додаткова акустична обробка поверхонь звукопоглинальними матеріалами і конструкціями, забезпечуючи при цьому додаткове поглинання звукових сигналів. Підбір поглиначів проводиться до тих пір, поки комбінація вибраних поглиначів не забезпечить необхідне поглинання з точністю $\pm 10\%$.

Виходячи з необхідної кількості одиниць звукопоглинання для обробки проектованої акустичної камери АСБ реставрації фонограм, вибираємо конструкції з перфорованої фанери, акустичний поролон, плити ПП-80, поліциліндричні конструкції [81] (див. табл. Б.3 і рис. Б.3). Звукопоглиначі розміщено за принципом рівномірного розподілу їх по стінах і стелі.

Таблиця Б.2

Найменування	Площа або кількість	125		250		500		1000		2000		4000	
		α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
Основний фонд													
Технічний персонал	2	0,28	0,56	0,4	0,8	0,45	0,9	0,49	0,98	0,47	0,94	0,45	0,9
Експерти, звукорежисери	5	0,28	1,4	0,4	2,0	0,45	2,25	0,49	2,45	0,47	2,35	0,45	2,25
Студійний інвентар	6	0,23	1,38	0,26	1,56	0,26	1,56	0,29	1,74	0,32	1,92	0,36	2,16
Килим	30	0,12	3,6	0,14	4,2	0,23	6,9	0,32	9,6	0,38	11,4	0,42	12,6
Підлога паркетна	21	0,06	1,26	0,07	1,47	0,06	1,26	0,05	1,05	0,05	1,05	0,07	1,47
Двері	3,75	0,3	1,125	0,3	1,125	0,3	1,125	0,4	1,5	0,4	1,5	0,4	1,5
Вікно в апаратну	2	0,35	0,7	0,25	0,5	0,18	0,36	0,12	0,24	0,07	0,14	0,04	0,08
Вентиляційні ґрати	0,75	0,3	0,225	0,42	0,315	0,5	0,375	0,5	0,375	0,5	0,375	0,51	0,38
Вільні стіни та стеля (відштукатурені)	151,5	0,01	1,515	0,01	1,515	0,02	3,03	0,02	3,03	0,03	4,545	0,03	4,55
ВСЬОГО:			11,77		13,49		17,76		20,97		24,22		25,9
$A_{\text{необ}}$			60,42		60,42		60,42		60,01		58,99		57,55
$A_{\text{д}}=A_{\text{необ}}-A_{\text{о}}$			48,65		46,93		42,66		39,04		34,77		31,65

Розрахункове значення часу стандартної реверберації і відхилення від оптимального значення визначають із співвідношень:

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-S_{\Sigma} \cdot \ln \cdot \left(1 - \frac{A}{S_{\Sigma}}\right) + 4 \cdot \mu \cdot V}, \quad (\text{Б.5})$$

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{розр}} - T_{\text{опт}}}{T_{\text{опт}}} \cdot 100\% . \quad (\text{Б.6})$$

Результати розрахунку занесено в табл. Б.3 і відображаємо на рис. Б.2.

У акустичний розрахунок приміщення входить також розробка заходів щодо захисту приміщення від сторонніх звукових сигналів, званих шумами, що заважають сприйняттю або запису музики і мови.

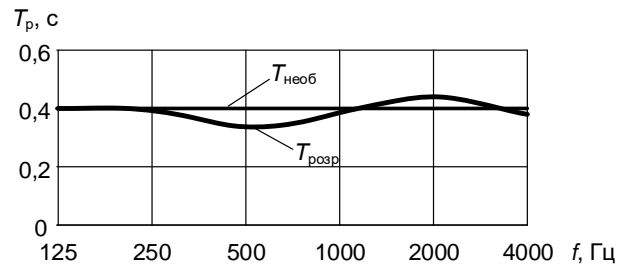


Рисунок Б.2 – Час реверберації в акустичній камері АСБ

Таблиця Б.3

Найменування	Площа або кількість	125		250		500		1000		2000		4000	
		α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
Додатковий фонд													
Конструкція з перфорованої фанери $d=4\text{мм}$, $D=40\text{мм}$, $L=100\text{мм}$	10	0,98	9,8	0,88	8,8	0,52	5,2	0,21	2,1	0,2	1,6	0,14	1,4
Напівциліндричні конструкції, з відносом 50 мм, заповнювач товщиною 50мм	55	0,5	27,5	0,4	22	0,44	24,2	0,33	18,15	0,1	7,15	0,16	8,8
з відносом 50 мм, без заповнювача	10	0,41	4,1	0,3	3	0,35	3,5	0,16	1,6	0,1	1	0,14	1,4
Акустичний поролон без відносу	20	0,06	1,2	0,16	3,2	0,25	5	0,38	7,6	0,6	11,8	0,63	12,6
Плити ПП-80, товщиною 100 мм з відносом 100 мм	11	0,62	6,82	0,97	10,67	0,98	10,78	0,97	19,67	0,9	10,34	0,81	8,91
ВСЬОГО:			49,42		47,67		48,68		40,12		31,89		33,11
A_0+A_d			60,49		60,42		65,87		60,46		55,86		58,99
Середній коефіцієнт поглинання $\alpha_{\text{ср}}$			0,295		0,3		0,33		0,295		0,273		0,288
$-\ln(1-\alpha_{\text{ср}})$			0,35		0,35		0,39		0,35		0,318		0,34
$-S\ln(1-\alpha_{\text{ср}})$			71,69		71,59		79,48		71,64		65,23		69,57
Поглинання звуку у повітрі ($4\mu V$)									0,714		1,785		4,284
Розрахунковий час реверберації $T_{\text{розр}}$			0,401		0,4		0,362		0,397		0,429		0,389
Необхідний час реверберації $T_{\text{необ}}$			0,4		0,4		0,4		0,4		0,4		0,4
Відхилення $T_{\text{розр}}$ від $T_{\text{необ}}$			0,001		0,0		-0,038		-0,003		0,029		-0,011
Відхилення $T_{\text{розр}}$ від $T_{\text{необ}}$ в %			0,222		0,0		-9,6		-0,71		7,214		-2,72

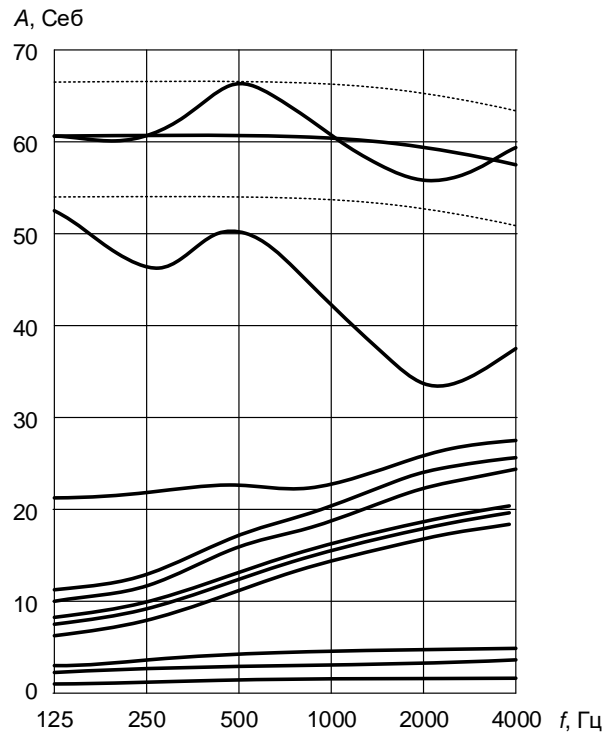


Рисунок Б.3 – Відображення підсумовування загального й додаткового поглинання

Розрахунок звукоізоляції акустичної камери проводимо на підставі плану будівлі, склавши таблицю огорожі камери (табл. Б.4). Рівень шуму в акустичній камері не повинен перевищувати 25 дБ.

Розрахунок рівня шуму $L_{ш}$, проникаючого через всі огорожі з сусідніх приміщень, проводимо за формулою

$$L_{ш} = 10 \cdot \lg \cdot \sum_i S_i \cdot 10^{0,1(N_i - \sigma_i)} - 10 \cdot \lg A. \quad (\text{Б.7})$$

Дані для розрахунку звукоізоляції зведено в таблиці Б.5.

З таблиці Б.5 видно, що

$$\sum_i S_i \cdot 10^{0,1(N_i - \sigma_i)} = 8561,86. \quad (\text{Б.8})$$

Рівень шуму в акустичній камері АСБ РтаВФ

$$L_{ш} = 10 \cdot \lg \sum_i S_i \cdot 10^{0,1(N_i - \sigma_i)} - 10 \cdot \lg A = 10 \cdot \lg 8561,86 - 10 \cdot \lg 65,86 = 21,14 \text{ дБ.} \quad (\text{Б.9})$$

Таблиця Б.4

Найменування огорожі	Джерело шуму	Рівень шуму джерела, дБ	Припустимий рівень в залі, дБ	Необхідне ослаблення, дБ	Конструкція огорожі	Власна звукоізоляція, дБ
Зовнішні стіни	Тихий двір	85	25	60	Стіна цегляна з повітряним проміжком	75
Стіна між залом та апаратною	Апаратна	85	25	60	Стіна цегляна з повітряним проміжком	75
Вікно в апаратну	Апаратна	85	25	60	Акустичне вікно спеціальної конструкції з трьома стеклами	50
Двері з залу в тамбур виходу	Тамбур	50	25	25	Акустичні двері спеціальної конструкції	25
Стіна між залом й тамбуром	Тамбур	50	25	25	Стіна цегляна з повітряним проміжком	75
Стіна між залом й фонотекою	Фонотека	50	25	25	Стіна цегляна з повітряним проміжком	75
Стіна між залом й коридором	Коридор	65	25	40	Стіна цегляна з повітряним проміжком	75
Перекриття під залом	Підвал	50	25	25	Залізобетонні плити з шлаковою засипкою	55
Перекриття над залом	Горище	75	25	50	Залізобетонні плити з шлаковою засипкою	65

Таблиця Б.5

Найменування поверхонь, що огорожують зал прослуховування	$S_i, \text{м}^2$	$N_i, \text{дБ}$	$\sigma_i, \text{дБ}$	$0,1(N_i - \sigma_i)$	$10^{0,1(N_i - \sigma_i)}$	$S_i \cdot 10^{0,1(N_i - \sigma_i)}$
Зовнішні стіни	31,85	85	75	1	10	318,5
Стіна між залом й тамбуром	3,25	50	75	-2,5	0,0032	0,0103
Двері з залу в тамбур виходу	3,75	50	25	2,5	316,228	1185,854
Стіна між залом та апаратною	20,4	85	75	1	10	204
Вікно в апаратну	2	85	50	3,5	316,228	6324,555
Стіна між залом й коридором	31,85	65	75	-1	0,1	3,185
Перекриття над залом	50,96	75	65	1	10	509,6
Перекриття під залом	50,96	50	55	0,5	0,316	16,115
ВСЬОГО:						8561,86

Загальний рівень шуму в акустичній камері з урахуванням шумів вентиляційних каналів дорівнює

$$L_{\Sigma} = L + \sigma(\Delta L) = 21,14 + 3 = 24,14 \text{ дБ}, \quad (\text{Б.10})$$

що не перевищує допустиме значення $L_{\text{необ}} = 25 \text{ дБ}$.

Б.2 Розрахунок електроакустичних параметрів гучномовців і мікрофонів АСБ

Для відтворення аналогових фонограм, формуючи акустичний сигнал, використовуємо активний звуковий монітор EVE Audio SC208, параметри якого наведено в табл. Б.6 [Б1].

Таблица Б.6

Модель гучномовця	EVE Audio SC208
Вид гучномовця	активний звуковий монітор
Вид акустичного оформлення	закритий ящик
Діапазон відтворюваних (робочих) частот, Гц	36...21000
Нерівномірність частотної характеристики, дБ	-3
Кількість смуг/динаміків відтворення частотного діапазону (частота розділення смуг – кросовера, кГц) шт.	2/2 (2,8)
Номинальний електричний опір, Ом	10000 (лінійний вхід)
Рівень характеристичної чутливості дБ/м√Вт	89
Номинальна потужність, Вт	200 (НЧ ГГМ – 150), (ВЧ ГГМ - 50)
Максимальний рівень звукового тиску, дБ	112
Кількість та тип головок гучномовця	2 - ВЧ-випромінювач (твіттер) АМТ RS2; СЧ/НЧ-випромінювач 200 мм / 8"
Габарити, мм (висота x ширина x глибина)	255×390×330
Наявність та кількість вбудованих підсилювачів	2
Наявність та кількість пристроїв оброблення звуку	1 Лімітер; РТ ВЧ 3 кГц, (-5 - +3 дБ); РТ НЧ 300 Гц, (-5 - +3 дБ); ФВЧ 160 Гц (-5 дБ – 0 дБ)
Споживча потужність, ВА	170

Рівень характеристичної чутливості при заданих значеннях максимального рівня і номінальної потужності визначено за формулою:

$$L_{E_x} = L_{P_{\text{ном}}} - 10 \lg \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{ст}}} = 112 - 10 \lg \frac{200}{1} = 112 - 23 = 89 \text{ дБ}, \quad (\text{Б.11})$$

де $L_{P_{\text{ном}}}$ – рівень акустичного сигналу при номінальній потужності, $P_{\text{ном}}$ – номінальна електрична потужність гучномовця, $P_{\text{ст}}$ – стандартна електрична потужність гучномовця, що відповідає значенню $P_{\text{ст}}=1$ Вт.

Як номінальний рівень звукового тиску, що буде відповідати сигналу запису з мікрофона приймемо рівень 94 дБ, звуковий тиск 1 Па. Такий рівень на відстані 1 м від гучномовця визначає його характеристичну потужність. Електрична потужність, що підводять до гучномовця в режимі його роботи з характеристичною потужністю дорівнює

$$P_x = P_{\text{ст}} 10^{\frac{L_1 - L_{E_x}}{10}} = 1 \cdot 10^{\frac{94 - 89}{10}} = 3,16 \text{ Вт}, \quad (\text{Б.12})$$

де L_1 – рівень акустичного сигналу, що відповідає звуковому тиску 1 Па, L_{E_x} – стандартний рівень чутливості гучномовця, $P_{\text{ст}}$ – стандартна електрична потужність гучномовця, що відповідає значенню $P_{\text{ст}}=1$ Вт.

Враховуючи, що мікрофон буде встановлено на відстані $l=2$ м від гучномовця, звуковий тиск, що буде у мікрофона становитиме

$$p_l = \frac{p_1}{l} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ Па}, \quad (\text{Б.13})$$

де p_1 – звуковий тиск на відстані 1 м від гучномовця (в даному випадку встановлено $p_1=1$ Па).

Розрахунок звукового тиску при зазначеному рівні характеристичної чутливості L_{E_x} , що створюється гучномовцем на відстані 1 м, при підведенні до нього, як правило, синусоїдного звукового сигналу частотою 1 кГц потужності 1 Вт:

$$E_x = p_0 10^{\frac{L_{E_x}}{20}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\frac{89}{20}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{4,45} = 0,56 \text{ Па}, \quad (\text{Б.14})$$

де p_0 – звуковий тиск, що відповідає порогу чутності $p_0=2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Розрахунок середнього стандартного звукового тиску $p_{\text{ст}}$ – звукового тиску, що створюється гучномовцем на відстані 1 м, при підведенні до нього, як правило,

синусоїдального звукового сигналу частотою 1 кГц потужності 0,1 Вт для гучномовця EVE Audio C208

$$p_{\text{ст}} = E_x \sqrt{0,1} = \frac{E_x}{\sqrt{10}} = \frac{0,56}{3,16} = 0,18 \text{ Па}, \quad (\text{Б.15})$$

де E_x – характеристична чутливість гучномовця.

Розрахунок рівня стандартного звукового тиску для гучномовця EVE Audio C208

$$L_{p_{\text{ст}}} = 20 \lg \frac{p_{\text{ст}}}{p_0} = 20 \lg \frac{0,18}{2 \cdot 10^{-5}} = 79 \text{ дБ}. \quad (\text{Б.16})$$

Розрахунок рівня звукового тиску при номінальній (піковій) потужності, тобто, при підведенні до гучномовця синусоїдного звукового сигналу частотою 1 кГц з потужністю, що зазначено в паспортних даних як номінальна для гучномовця EVE Audio C208 (наведено в паспортних даних, див. табл. Б.6)

$$L_{P_{\text{ном}}} = L_{E_x} + \Delta L_P = 89 + 10 \lg \frac{P_{\text{ном}}}{P_{\text{ст}}} = 89 + 10 \lg \frac{200}{1} = 89 + 23 = 112 \text{ дБ}. \quad (\text{Б.17})$$

де $P_{\text{ст}}$ – електрична потужність, що відповідає потужності 1 Вт; $P_{\text{ном}}$ – номінальна електрична потужність гучномовця, L_{E_x} – стандартний рівень чутливості гучномовця;

Розрахунок звукового тиску при номінальній потужності на відстані 1 м від гучномовця для гучномовця EVE Audio C208:

$$p_{\text{ном}} = p_0 10^{\frac{L_{P_{\text{ном}}}}{20}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\frac{112}{20}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{5,6} = 7,96 \text{ Па}. \quad (\text{Б.18})$$

Розрахунок рівня звукового сигналу на відстані від гучномовця 2 м для гучномовця EVE Audio C208

$$L_l = 20 \lg \frac{p_l}{p_0} = 20 \lg \frac{0,5}{2 \cdot 10^{-5}} = 20 \lg 0,5 + 94 = 87,98 \text{ дБ}. \quad (\text{Б.19})$$

Розрахунок необхідної потужності від гучномовця для отримання заданого рівня звукового тиску $L_{P_{\text{зад}}} = 110$ дБ на відстані від гучномовця 1 м для гучномовця EVE Audio C208

$$P_{\text{робоч}} = 10^{\frac{L_{p_{\text{зад}}} - L_{E_x}}{10}} = 10^{0,1(L_{p_{\text{робоч}}} - L_{E_x})} = 10^{0,1(110-89)} = 125,9 \approx 126 \text{ Вт.} \quad (\text{Б.20})$$

Розрахунок сумарного звукового тиску на відстані 2 м від двох гучномовців, що встановлені на відстані 3 м один від одного при характеристичній потужності:

$$p_{\Sigma} = \sqrt{2p_1^2} = p_1 \sqrt{2} = 1,4 \cdot 0,5 = 0,7 \text{ Па} \quad (\text{Б.21})$$

Як мікрофон для запису акустичних сигналів в режимі відтворення аналогових фонограм застосовуємо мікрофон С-3000В (АКГ), параметри якого наведено в табл. Б.7 [Б2].

Таблиця Б.7

Мікрофон	С-3000В, АКГ
Тип	конденсаторний
Тип перетворювача	градієнт тиску
Чутливість на частоті 1 кГц при навантаженні 1 кОм, мВ/Па (дБВ)	25 мВ/Па (-32)
Номинальний діапазон частот, Гц	20... 20000
Характеристика спрямованості	кардіоїда
Спад на НЧ, дБ	-10
Номинальний імпеданс, Ом	< 200
Рекомендоване навантаження, Ом	> 1000
Еквівалентний рівень шумів (IEC-651), дБ-А	14
Еквівалентний рівень шумів (CCIR-468-2), дБ-С	25
Максимальний рівень звукового тиску при коефіцієнті нелінійних спотворень 0,5%, дБ	140 (150 із загасанням -10 дБ)
Рівень максимальної вихідної напруги, дБВ	16,2
Відношення сигнал/шум, дБ-А	80
Відношення сигнал/шум, дБ-С	69
Динамічний діапазон мікрофонного підсилювача, дБ	126
Фантомне живлення, В	9-52
Струм насичення, мА	2
Температура навколишнього середовища, °С	-10...+60, вологість 90%
Зовнішній рознімач	3-pin XLR
Розмір, мм	53×162
Маса, г	320

Для цього мікрофона розраховано такі електроакустичні параметри:

Стандартний рівень чутливості - це виражене в децибелах відношення напруги, що розвивається на номінальному опорі $R_{\text{ном}}$ при звуковому тиску 1Па до напруги, що відповідає потужності $P_0 = 1\text{мВт}$, тобто рівень потужності, що

віддає мікрофон в номінальне навантаження $R_{\text{ном}}$ при тиску $p_{\text{зв}}=1\text{Па}$

$$N_{\text{ст}} = 20\lg \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{\text{ном}} \cdot P_0}} = 20\lg \frac{E_{\text{ном}} \cdot 1}{\sqrt{R_{\text{ном}} \cdot 10^{-3}}} = 10\lg \frac{U_{\text{ном}}^2}{R_{\text{ном}} \cdot P_0}, \quad (\text{Б.22})$$

де $U_{\text{ном}}$ - напруга на номінальному навантаженні, $E_{\text{ном}}$ - «номінальна» чутливість, $R_{\text{ном}}$ - номінальний опір навантаження, може бути встановлення як $R_{\text{ном}}=R_i$; $R_{\text{ном}}=R_{\text{нрек}}$; $R_{\text{ном}}=R_{\text{норм}}$; R_i - внутрішній опір (імпеданс) мікрофона; $R_{\text{нрек}}$ - рекомендований опір навантаження; $R_{\text{норм}}$ - нормоване значення навантаження, $R_{\text{норм}}=600\text{ Ом}$, або будь-яке значення опору навантаження.

Стандартний рівень чутливості не зазначається в паспортних даних на мікрофон. Для наведеного мікрофона стандартний рівень чутливості буде становити:

$$N_{\text{ст}} = 20\lg \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{\text{ном}} P_0}} = 20\lg \frac{E_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{\text{ном}} P_0}} = 20\lg \frac{25 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{200 \cdot 10^{-3}}} = -25,05 \text{ дБ} \quad (\text{Б.23})$$

Рівень електричного сигналу $N_{\text{м}}$ на виході мікрофона при визначеному звуковому тиску $p_{\text{зв}}=20\text{ Па}$ може бути розраховано за формулою:

$$N_{\text{м}} = 20\lg \frac{U}{U_0} = 20\lg \frac{E_{\text{ос}} \cdot p_{\text{зв}}}{U_0} = 20\lg \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{0,775} = -3,8 \text{ дБ} \quad (\text{Б.24})$$

де U_0 - напруга, що відповідає значенню $U_0=0,775\text{ В}$, $E_{\text{ос}}$ - осьова чутливість мікрофона.

При звуковому тиску $p_{\text{зв}}=0,5\text{ Па}$ та $p_{\text{зв}}=0,7\text{ Па}$ рівень електричного сигналу $N_{\text{м}}$ на виході мікрофона буде становити:

$$N_{\text{м}} = 20\lg \frac{U}{U_0} = 20\lg \frac{E_{\text{ос}} \cdot p_{\text{зв}}}{U_0} = 20\lg \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5}{0,775} = -35,85 \text{ дБ} \quad (\text{Б.25})$$

$$N_{\text{м}} = 20\lg \frac{U}{U_0} = 20\lg \frac{E_{\text{ос}} \cdot p_{\text{зв}}}{U_0} = 20\lg \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7}{0,775} = -32,93 \text{ дБ} \quad (\text{Б.26})$$

Звуковий тиск, що необхідно підвести до мікрофона, щоб отримати рівень електричного сигналу $N_{\text{м}}=0\text{ дБ}$ розраховано за формулою:

$$p_{\text{зв } 0\text{дБ}} = \frac{U_0 \cdot 10^{N_{\text{м}}/20}}{E_{\text{ос}}} = \frac{0,775 \cdot 10^{0/20}}{E_{\text{ос}}} = \frac{0,775}{E_{\text{ос}}} = \frac{0,775}{25 \cdot 10^{-3}} = 31 [\text{Па}]. \quad (\text{Б.27})$$

де U_0 – напруга, що відповідає значенню $U_0=0,775$ В, E_{oc} – осьова чутливість мікрофона, N_m - рівень електричного сигналу на виході мікрофона;

Звуковий тиск $p_{зв\ гр}$ при граничному рівні сигналу розраховано за формулою

$$p_{зв\ гр} = p_0 10^{\frac{L_{тр}}{20}} = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{\frac{140}{20}} = 200 \text{ Па.} \quad (\text{Б.28})$$

де $L_{тр}$ – максимальний рівень акустичного сигналу, що сприймає мікрофон при визначеному значенні нелінійних спотворень.

Рівень звукового електричного сигналу на виході мікрофона при підведенні акустичного сигналу, що відповідає максимальному рівню звукового тиску доцільно розрахувати за формулою

$$N_{м\ гр} = 20 \lg \frac{U_{гр}}{U_0} = 20 \lg \frac{E_{oc} \cdot p_{зв\ гр}}{U_0} = 20 \lg \frac{E_{oc} \cdot p_{зв\ гр}}{0,775} \text{ [дБн (dBu)]} \quad (\text{Б.29})$$

Для наведеного мікрофона рівень сигналу на виході мікрофона при граничному звуковому тиску $p_{зв\ гр}$ Па буде становити:

$$N_{м\ гр} = 20 \lg \frac{E_{oc} \cdot p_{зв\ гр}}{0,775} = 20 \lg \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{0,775} = 16,2 \text{ [дБн (dBu)]} \quad (\text{Б.30})$$

Динамічний діапазон мікрофона

$$D = L_{тр} - L_{ш} = 140 - 14 = 126 \text{ дБ,} \quad (\text{Б.31})$$

де $L_{тр}$ – максимальний рівень акустичного сигналу, що сприймає мікрофон при визначеному значенні нелінійних спотворень, $L_{ш}$ – рівень власних шумів мікрофона, приведений до акустичного шуму.

Список використаних джерел

- Б1. Versatile 2-way monitor. URL : <https://eve-audio.de/index.php?page=SC208>
- Б2. High-performance large-diaphragm condenser microphone URL : https://www.akg.com/Microphones/Condenser%20Microphones/C3000.html?dwvar_C3000_color=Black-GLOBAL-Current&cgid=Condenser%20Microphones#start=1

“ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор

Національного технічного університету

України «Київський політехнічний інститут

імені Ігоря Сікорського»

Юрій ЯКИМЕНКО

« 03 » 2021 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**результатів дисертаційної роботи в навчальний процес****Національного технічного університету України****«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Ми, що нижче підписалися, декан факультету електроніки Жуйков В.Я. та завідувач кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Найда С.А., відповідальний за цикл лабораторних робіт з цих дисциплін ас. Левенець Н.Ф., склали даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Гребінь Олександра Павловича «**Засоби підвищення ефективності процесу реставрації та відновлення фонограм**» використовуються у навчальному процесі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» факультету електроніки на кафедрі акустичних та мультимедійних електронних систем.

Вид результату, що впроваджується	Форма впровадження	Ефект від впровадження
1. Методика та технологія виконання РтаВ робіт з аналоговими фонограмами, оцінювання якості фонограм	У навчальних програмах дисциплін «Системи архівування та реставрації аудіовізуальної інформації». «Реставрація архівної аудіо продукції» за спеціалізаціями «Електронні засоби Інтернету речей та систем відеоспостереження», «Акустичні мультимедійні системи і технології обробки музично-мовної інформації»	Удосконалення навчальних програм підготовки спеціалістів та магістрів
2. Алгоритми та програмні засоби для виконання реставраційних робіт з аналоговими фонограмами, етапи проведення РтаВФ, методи оцінювання якості фонограм	У лекційних курсах у відповідних розділах введено інформацію, щодо технологічних етапів РтаВФ, методів та засобів оцінювання якості фонограм після РтаВФ, розроблено нові лабораторні роботи з моделювання артефактів фонограм та видаленням їх відповідними засобами.	Підвищення якості практичної підготовки спеціалістів та магістрів

Декан факультету електроніки

В. Я. Жуйков

Завідувач кафедри

акустичних та мультимедійних електронних систем

С.А. Найда

Асистент кафедри

акустичних та мультимедійних електронних систем

Н.Ф. Левенець